

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Distribuição espaço-temporal dos fogos ativos na Península Ibérica

Carla Lando da Costa Fatela

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Distribuição espaço-temporal dos fogos ativos na Península Ibérica

Carla Lando da Costa Fatela

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Trabalho realizado sob a supervisão do

Professor Doutor Carlos da Camara,

Professor Associado do Departamento de Engenharia Geográfica Geofísica e Energia

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

2012

Abstract

Fire is a climate variable with often severe impacts on both the natural landscape and the human activity. Like other Mediterranean regions, the Iberian Peninsula is seriously affected by this agent and efforts have to be made aiming not only at prevention, suppression and monitoring, but also to a better understanding of the interrelationships between the fire and the various factors that contribute to it, in particular atmospheric processes and vegetation dynamics. In this context, remote sensing is an indispensable tool that made possible a global monitoring and recording of active fires, as well as the creation of consolidated databases that serve various studies and advances that have been made in this area.

In this work we intend to contribute to a better understanding of fire regimes in the Iberian Peninsula, taking into account the role of vegetation types in the distribution of the occurrences. Homogeneous regions concerning land cover and seasonal occurrences were determined and statistical models were developed for these regions through adjustments of the generalized Pareto distribution. This distribution has proven to be very suitable for the description of fire behavior, in particular to model the size distribution and duration of fires, revealing here again to be suitable to model the distribution of the number of occurrences. Based on this characterization, it was possible to estimate the monthly fire risk associated with regions of different vegetation cover, which, in future, may be used as input information when deriving static fire risk maps. These results may further be integrated with weather information, leading to improved models of fire risk estimation.

Keywords: Fire, Remote sensing, Vegetation, Pareto distribution, Fire risk.

Resumo

O fogo é uma variável climática com impactos frequentemente severos quer para o patrimônio natural, quer para a atividade humana. A Península Ibérica, tal como as outras regiões mediterrânicas, é uma região seriamente afetada por este agente, situação para a qual são essenciais esforços não só a nível da prevenção, combate e monitorização, mas também no sentido de se compreenderem as inter-relações entre o fogo e os diversos fatores que para ele contribuem, em particular os processos atmosféricos e a vegetação. Neste contexto, a deteção remota constitui uma ferramenta imprescindível, tendo tornado possível a monitorização e o registo global de fogos ativos, bem como a criação de bases de dados consolidadas que servem os diversos estudos e avanços que têm sido realizados nesta área.

Neste trabalho procurou contribuir-se para uma melhor compreensão dos regimes de fogo na Península Ibérica, tomando em consideração o papel do tipo de vegetação presente na distribuição das ocorrências registadas. Para isso, determinaram-se regiões de estudo homogêneas a nível do coberto vegetal e da variabilidade intra-anual de ocorrências e realizou-se uma modelação estatística para estas regiões através de ajustes da distribuição generalizada de Pareto. Esta distribuição tem-se mostrado muito adequada à descrição do comportamento do fogo, em particular, da distribuição da sua dimensão e da sua duração, mostrando-se aqui também adequada à distribuição do número de ocorrências. A partir desta caracterização foi possível calcular o risco de incêndio mensal associado às regiões identificadas, o que, em trabalhos futuros, poderá constituir material para a elaboração de mapas estáticos de risco de incêndio. Os resultados poderão ainda ser integrados com informação meteorológica, enriquecendo os modelos de cálculo do risco de incêndio.

Palavras-chave: Fogo, Deteção remota, Vegetação, Distribuição de Pareto, Risco de incêndio.

Índice

Abstract	3
Keywords:	3
Resumo.....	3
Palavras-chave:	3
1. Introdução	7
2. Fogos na Península Ibérica.....	12
3. Dados e pré-processamento.....	20
4. Resultados	32
5. Discussão e conclusões	41
6. Bibliografia	42

Lista de figuras

Figura 2.1 - Classificação climática de Köppen-Geiger para a Península Ibérica.	13
Figura 2.2 - Evolução da ocupação florestal por espécie dominante em Portugal Continental. 15	
Figura 2.3 - Evolução dos tipos de ocupação do solo de Espanha, segundo os dados do IFN3.. 17	
Figura 3.1 - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).	20
Figura 3.2 - Regiões globais definidas segundo os grupos locais de estudo (GLC-2000).	22
Figura 3.3 - Mapa das classes de vegetação predominantes na Península Ibérica.	23
Figura 3.4 - Evolução mensal das estatísticas do n.º de ocorrências da amostra (2001-2009).. 24	
Figura 3.5 - Distribuição anual do n.º de ocorrências da amostra (2001-2009).	24
Figura 3.6 - Distribuição mensal do n.º de ocorrências da amostra (2001-2009).	25
Figura 3.7 - Historial de ocorrências mensais da amostra (2001-2009).....	25
Figura 3.8 - Distribuição semanal do n.º de ocorrências da amostra (2001-2009).....	26
Figura 3.9 - Grelha espacial para a degradação de fogos ativos.	28
Figura 3.10 - Quadrículas com um ou mais fogos ativos (meses Julho - Agosto).	29
Figura 3.11 - Contagem das quadrículas com exatamente x número de fogos ativos	30
Figura 3.12 - Mapas da percentagem de cada classe de vegetação, por quadrícula.....	31
Figura 4.1 - Média global (à esquerda) e desvio padrão global (à direita) do número médio de fogos ativos	32
Figura 4.2 - Regiões da Península Ibérica obtidas pela análise de <i>clusters</i>	33
Figura 4.3 - Regiões de estudo definidas a partir dos <i>clusters</i> obtidos.....	33
Figura 4.4 - Composição da vegetação das regiões consideradas.	34
Figura 4.5 - Número médio de fogos mensais por quadrícula	35
Figura 4.6 - Gráfico de probabilidade para os meses de Verão da amostra total de dados.....	36
Figura 4.7 - Gráficos de probabilidade para o modelo ajustado.....	38
Figura 4.8 - Variação mensal dos parâmetros de forma (k) e de escala (σ).....	39
Figura 4.9 - Funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada de Pareto (Julho a Agosto de 2001-2009).....	39
Figura 4.10 - Funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada de Pareto (Julho de 2001-2009).....	40
Figura 4.11 - Funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada de Pareto (Agosto de 2001-2009).....	40

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Usos do solo de Portugal Continental (sem as regiões autónomas).....	14
Tabela 2.2- Ocupação florestal de Portugal Continental por espécie dominante.....	15
Tabela 2.3 - Tipos de ocupação vegetal do solo em Espanha	16
Tabela 2.4- Áreas de ocupação florestal de Espanha.....	16
Tabela 2.5- Quantidade total de biomassa existente por espécie dominante em Portugal.....	17
Tabela 2.6- Estimativa do valor económico da floresta espanhola (IFN3, 2010).....	18
Tabela 2.7 – Resumo de parâmetros do risco de incêndio e da ecologia do fogo.....	19
Tabela 3.1 - Legenda das classes de vegetação utilizadas pelo GLC2000.....	23
Tabela 4.1 - Estimativas mensais dos parâmetros da função GP ajustada.	36
Tabela 4.2– Riscos de incêndio calculados para as diferentes regiões de estudo.....	40

1. Introdução

1.1 Fogos da vegetação

O fogo é um dos agentes que oferece maior risco à segurança florestal, atuando como elemento perturbador do equilíbrio dos ecossistemas, mas estando também na origem de prejuízos de diversa ordem, nomeadamente, humanos, socioeconómicos, energéticos e ambientais. Embora tendo um papel importante, por vezes até desejável, em atividades ligadas ao uso do solo (FAO, 2010) e sendo, por outro lado, um fenómeno altamente modelador da estrutura e da dinâmica da paisagem, sob condições descontroladas, o fogo pode facilmente atingir proporções elevadas e ter impactos altamente prejudiciais.

O fogo encontra-se classificado como “desastre climático” pelo CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) e, desde 2006, é considerado como “Variável Climática Essencial” pelo GCOS (Global Climate Observing System).

Observa-se que uma pequena percentagem dos fogos se encontra na origem de uma grande parte do estrago causado, dado que, embora com poucas ocorrências registadas, os fogos de grande ou muito grande dimensão atingem proporções que dificultam o combate e tendo-se temperaturas mais altas que os tornam altamente destrutivos, atuando com maior severidade.

A frequência com que os fogos atingem uma determinada região tem impactos a nível da sucessão da vegetação e da sua resiliência a posteriores episódios de fogo (Gouveia, et al., 2010), bem como à capacidade de armazenamento de carbono (NASA, 2003).

Segundo Chuvieco et al. (2008), verifica-se em mais de 30% da superfície terrestre uma frequência significativa de incidência de fogos, estimando-se que, a nível global, entre 2001 e 2004, tenham ardido em média, por ano, cerca de 3.35 milhões de km² (Giglio, et al., 2006). Para o período entre os anos de 2000 e 2007, um estudo mais recente (Tansey, et al., 2007), estima que a área ardida anual esteja entre 3.5 e 4.5 milhões de km². (Tansey, et al., 2007).

O continente africano é aquele que contabiliza mais área ardida anual, seguindo-se a América do Sul, o Sudoeste da Ásia e a Austrália (Graetz, 1999). A zona boreal, que cobre dois terços da Rússia e da Escandinávia, Canadá e Alasca, contabiliza anualmente 5 a 20 milhões de hectares anuais ardidos, apresentando uma variabilidade interanual de superfície ardida que excede aquele valor numa ordem de magnitude. Tem-se ainda a região Amazónica da América do Sul com aproximadamente 20 milhões de hectares anuais; a que se seguem os Estados Unidos da América com 7 a 8 milhões de hectares anuais. Finalmente, a Eurásia (zona boreal temperada), desde meados de 1990, apresenta um valor médio anual de 6 a 7 milhões de hectares ardidos.

No que respeita à região mediterrânica europeia, estima-se que a extensão média anual ardida seja de cerca de 500 000 hectares, correspondente a 95% da área que arde por ano na Europa (Rigolot, et al., 2009). Para o ano de 2010, 77% do número de fogos contabilizados na Europa ocorreram na Península Ibérica, dos quais 66% em Portugal, ou seja, no contexto dos países europeus do mediterrâneo, um pouco mais de metade do número de fogos ocorridos naquele ano (e, neste caso, também da área

ardida) foi respeitante a território Português (JRC, 2010). As tendências das últimas décadas revelam um aumento da atividade do fogo, sobretudo nas florestas tropicais do Sul da América e do Sudoeste da Ásia e nas zonas mediterrânicas da Europa (Pyne, et al., 2011). Nas regiões de floresta tropical, observa-se uma relação direta entre este crescimento e a intensiva desflorestação, decorrente de mudanças no uso do solo (Cochrane, 2003; Carmona- Moreno & et, 2005; Pyne, et al., 2011).

Nas regiões temperadas das latitudes médias, as iniciativas de combate e prevenção dos fogos têm contribuído para a redução da atividade dos fogos a curto prazo, o que, no entanto, pode vir a traduzir-se numa maior incidência de fogo catastrófico a longo prazo (Littell, et al., 2009; Pyne, et al., 2011).

De entre as causas naturais dos fogos, relevam as relacionadas com fatores meteorológicos, tendo-se que a combinação de temperaturas mais altas do que a média com uma maior disponibilidade de combustível e condições de reduzida precipitação e humidade são muitas vezes suficientes para desencadear importantes episódios. Outra causa natural, comum nas regiões boreais, são os raios que podem chegar a estar na origem de mais de 80% da área ardida (Stocks, 1992).

De referir que o uso extensivo do fogo nas atividades relacionadas com a agricultura e com a limpeza de áreas florestais, e ainda a migração de populações, quer de áreas rurais para áreas urbanas ou vice-versa (que originam alterações na extensão das fronteiras urbanas e florestais) estão entre os fatores que mais frequentemente se relacionam com as tendências atualmente verificadas nas áreas globais ardidas (Cochrane, 2003; Spessa, et al., 2007)

Os prejuízos e as perdas causados pelos fogos são muito difíceis de quantificar, uma vez que existem diversos tipos de prejuízos e as perdas podem ser diretas e indiretas. De acordo com o EFFIS (European Forest Fire Information System), que desenvolveu um modelo para a avaliação do impacto socioeconómico dos incêndios da vegetação na Europa, tem-se um valor estimado de prejuízos que ronda 3 000 euros por cada hectare ardido (EFFIS, 2003).

Em termos de orçamentos exclusivamente dedicados a programas de prevenção e combate, gastam-se anualmente montantes na ordem dos biliões. Por exemplo, no Canadá são gastos de 700 M a 1 bilião de dólares canadianos (CAD) e nos países da Europa mediterrânica 2.5 biliões de euros (€); na Austrália os gastos ascendem a 6.625 biliões de dólares americanos (US\$) e, nos EUA, a 1.5 biliões de dólares anuais desde o ano de 2000, tendo-se ainda que, entre 1997-2008, os custos ultrapassaram os 13.1 biliões de dólares (US\$).

No contexto ambiental, para além da perda da biodiversidade e da erosão e alteração química e física dos solos, os fogos contribuem significativamente para as emissões atmosféricas de gases com efeito de estufa e de aerossóis, alterando a química da troposfera e o balanço radiativo e provocando grandes alterações nos fluxos e nos ciclos geoquímicos, especialmente no ciclo do carbono, favorecendo a remoção do carbono das camadas terrestres e tendo influência significativa na acidificação dos oceanos (Le Quééré, et al., 2009). Tendo em conta a aplicação das medidas integrantes do mercado de emissões de carbono, estas emissões poderão significar um agravamento das penalizações económicas aplicadas aos países emissores.

Finalmente, não pode deixar de referir-se a importância, crescentemente reconhecida, dos incêndios para as alterações climáticas, bem como a relevância dos seus efeitos adversos na sustentabilidade dos recursos disponíveis.

1.2 Monitorização de fogos de vegetação

A deteção e monitorização dos fogos é muitas das vezes realizada in-situ, através de vigilância efetuada a partir de torres ou por patrulha de terreno, geralmente acompanhados por registos e inventários de duração e/ou de danos. Outras vezes recorre-se a métodos da dendrocronologia (análise de anéis das árvores) ou a técnicas de observação remota, através de vigilância por aeronaves, observações de radar (Costa, 2008) e dados provenientes de satélites.

De uma forma muito geral pode dizer-se que a deteção remota consiste na obtenção de informação acerca de um objeto sem interferir fisicamente com esse mesmo objeto ou com o espaço em que se insere, através do recurso, por exemplo, a instrumentos a bordo de satélites, como é o caso dos instrumentos MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua, que produzem e disseminam imagens da superfície da Terra, em particular de áreas queimadas e/ou de fontes térmicas. As técnicas de deteção remota têm como vantagem possibilitarem a observação de zonas remotas e da dinâmica dos eventos a diferentes resoluções espaciais e temporais, constituindo presentemente o único meio de análise de regimes de fogos à escala global (Mota, 2010).

Com base em observações in-situ e através de deteção remota, tem vindo a estabelecer-se bases de dados, cuja importância é fulcral para o estudo das características dos fogos, nomeadamente no que se refere à sua variabilidade interanual, caracterização espaço-temporal, relações das ocorrências com o tipo de coberto vegetal, estimativa de emissões libertadas com origem na queima de biomassa, entre outras estimativas e parâmetros. Nas últimas quatro décadas, o desenvolvimento das características dos sensores, plataformas de observação, velocidade de transmissão e processamento de dados conduziram a que a deteção remota tenha vindo a proporcionar um aumento da observação de processos atmosféricos em cerca de 90%, traduzida numa melhoria significativa da confiança nas previsões do tempo (Mota, 2010).

Em particular, as bases de dados obtidas através de deteção remota mostram-se essenciais quando se pretende construir modelos de risco de incêndio em determinadas áreas do Globo. De referir que, a caracterização dos fogos até finais da década de 90, feita a partir de imagens de satélite, deve muito a estudos locais que levaram ao desenvolvimento de técnicas de análise temporal e espacial. A este nível importa referir:

- o produto Global Burnt Area (GBA2000) que, utilizando imagens do sensor VEGETATION a bordo do satélite *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT), foi o primeiro a realizar estimativas da área de vegetação global ardida no ano de 2000 (Tansey, K., et al., 2004);
- o World Fire Atlas (WFA), que, baseado no instrumento Along Track Scanning Radiometer (ATSR) a bordo dos satélites European Remote Sensing (ERS) e ENVISAT, colecionou mapas mensais de fogos ativos desde 1995 até ao presente, possibilitando o registo e a análise da variabilidade interanual;
- o GLOBSCAR, que complementando o projeto GBA2000, produziu mapas da distribuição global de áreas ardidas com resolução espacial de 1 km e intervalos de tempo mensais, utilizando o instrumento ATSR-2 a bordo do satélite ERS-2;
- a primeira estimativa da área queimada e de emissões libertadas em África, realizado por Barbosa et al., 1999, os estudos de Dwyer et al. (2000) acerca da sazonalidade e o padrão espacial dos fogos a nível global entre Abril de 1992 e Dezembro de 1993 e de Rião et al. (2007) que contribuíram para a identificação de padrões globais de frequências, sazonalidade e

periodicidade dos fogos, para diferentes tipos de vegetação, recorrendo a 20 anos de dados AVHRR (National Research Council, 2008);

- diversos programas de cartografia global das áreas queimadas como, o produto MCD45, baseado nas imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Aqua e Terra e, o L3JRC, baseado no produto GBA2000.

1.3 Sobre este trabalho

1.3.1 Motivação - O futuro dos fogos e as necessidades atuais de pesquisa

Na região mediterrânica, 95% dos fogos têm origem humana, estando relacionados com acidentes ou com fogo posto (Rigolot, et al., 2009). O êxodo das áreas rurais para as áreas urbanas e a alteração do uso dos solos, nomeadamente do abandono dos terrenos agrícolas é também um dos fatores com mais influência no número de fogos verificados (Pereira, et al., 2005).

Por outro lado, o futuro dos incêndios da vegetação estará fortemente relacionado com as alterações climáticas, tal como é reportado por diversos estudos acerca da atividade futura do fogo. Embora existam muitos cenários climáticos possíveis e, portanto, largas incertezas no que respeita a previsões quantitativas espera-se que as regiões mais afetadas (maior frequência, severidade e dimensão de fogos) possam vir a ser os biomas tropicais e temperados e as zonas de clima mediterrânico e boreal (Pyne, et al., 2011).

Na época presente, alguns dos principais desafios da investigação sobre este tema são a localização, contabilização e previsão das emissões de gases com efeito de estufa decorrentes dos incêndios da vegetação, bem como a avaliação da destruição de vegetação que contaria como sumidouro de dióxido de carbono (Graetz, 1999; Riaño, et al., 2007). Sobre estes temas, os conhecimentos ainda são assaz escassos, em comparação com o que se conhece relativamente às emissões de origem fóssil.

As necessidades em torno do desenvolvimento científico vão no sentido de consolidar as bases de dados e a validação das imagens através da correlação com observações no solo, o mapeamento das áreas ardidas e o afinamento de métodos de inferência da intensidade dos fogos (Graetz, 1999).

A compreensão em torno das relações entre diversos fatores que dão vida ao fogo é fundamental, em particular da relação entre a dimensão dos fogos e o tipo de coberto vegetal. Outro fator de grande importância é a variabilidade da dimensão e da frequência dos fogos, que a nível regional pode ser decisivo nas estratégias de alocação de meios de prevenção e supressão dos eventos (Strauss, et al., 1989). A relação desta variabilidade com as mudanças da vegetação e do uso dos solos continua relativamente pouco explorada, mas pode vir a mostrar-se bastante útil na previsão de áreas ardidas, intensidade de fogos e de emissões.

1.3.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi contribuir para uma melhor caracterização dos regimes de fogo que se observam na Península Ibérica. Em particular, procurou-se identificar regiões de comportamento homogêneo no que se refere à distribuição de ocorrências de fogos ativos e, seguidamente, ajustar

distribuições estatísticas adequadas que permitissem estimar o risco de incêndio ao longo do ano em cada uma das regiões homogêneas identificadas.

1.3.3 Estrutura do trabalho:

- no presente capítulo dá-se uma ideia geral da importância dos fogos, da deteção remota como técnica de deteção e monitorização de fogos da vegetação e dão-se algumas razões justificativas da necessidade de se conhecerem melhor os regimes de fogos;
- no capítulo 2, apresenta-se uma breve descrição do clima e da vegetação da Península Ibérica, tecendo-se algumas considerações acerca do valor económico e ambiental da vegetação ibérica e da ecologia do fogo;
- no capítulo 3, apresentam-se os dados e as metodologias utilizadas no presente trabalho;
- no capítulo 4, apresentam-se os resultados obtidos, nomeadamente:
 - a) uma classificação da Península Ibérica em quatro regiões com comportamento homogêneo no que respeita à ocorrência de incêndios;
 - b) um conjunto de modelos estatísticos que permitem estimar o risco de que sejam excedidos determinados limiares de densidade de ocorrência de episódios de incêndio;
- finalmente, no capítulo 5, procede-se a uma breve discussão dos resultados obtidos e apresentam-se as principais conclusões.

2. Fogos na Península Ibérica

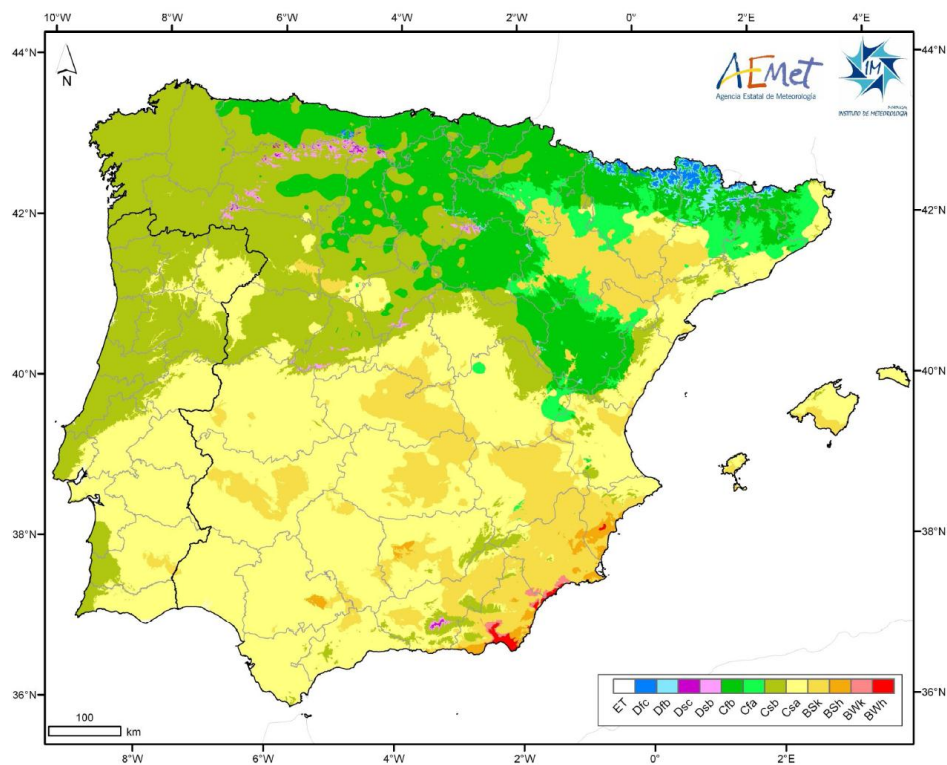
2.1 O clima

Tal como sucede em toda a Europa mediterrânica, a Península Ibérica caracteriza-se por ser uma região altamente propícia à ocorrência de fogos, não só pela distribuição e combustibilidade da vegetação, como pelo clima temperado mediterrânico, o qual, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, se caracteriza por verões moderadamente quentes a quentes e secos e por invernos moderadamente frios a frios e húmidos.

As temperaturas, embora possam variar bastante de região para região, são geralmente moderadas, dependendo da proximidade da costa ou de massas de água e ainda da elevação. Nos meses mais quentes, as temperaturas médias não descem abaixo de 10 °C e, nos meses mais frios, oscilam entre -3°C e 18°C. Nas zonas de típico clima mediterrânico (Csa), em que os verões são mais quentes, as temperaturas médias dos meses mais quentes situam-se acima de 22°C. As temperaturas de inverno são, geralmente, mais moderadas e observam-se mais dias húmidos com mais sol. Nas regiões a norte, em que os verões são moderadamente quentes (Csb), as médias mensais dos meses mais quentes não se situam tipicamente acima de 22°C e existem, pelo menos, quatro meses do ano em que as médias mensais excedem 10°C.

A precipitação durante os meses de verão é baixa (existe estação seca), sendo que o mês mais seco apresenta precipitação abaixo de 40 mm. Nas regiões com verões mais quentes (Csa), a precipitação ocorre maioritariamente nos meses mais frios enquanto que, nas regiões de verões moderadamente quentes (Csb), existem mais dias nublados e de maior humidade em todos os meses do ano. Nestas últimas regiões, a precipitação sob a forma de neve pode ocorrer nos pontos mais altos.

Embora em Portugal só se observem os dois tipos de clima mediterrânico (Csa e Csb), em Espanha, encontram-se presentes outros tipos de climas (ver figura 2.1), nomeadamente os seguintes: temperado húmido (ou seja, sem estação seca), temperado marítimo ou oceânico, semiárido (variantes frio e quente), continental húmido (com subtipos com verões moderadamente quentes e húmidos ou verões moderadamente quentes e secos), continental subártico (variantes seco e húmido, nos Pirinéus) e árido (desértico) quente e frio.



Legenda:	
ET	Tundra
Dfc	Continental subártico húmido (Pirinéus)
Dfb	Continental húmido (com verões moderadamente quentes e húmidos)
Dsc	Continental subártico seco
Dsb	Continental húmido (com verões moderadamente quentes e secos)
Cfb	Temperado marítimo ou oceânico (com verões temperados)
Cfa	Temperado marítimo ou oceânico (com verões quentes)
Csb	Temperado húmido ou Mediterrânico (com verões temperados)
Csa	Temperado húmido ou Mediterrânico (com verões moderadamente quentes)
BSk	Semiárido frio (clima das estepes)
BSh	Semiárido quente (clima das estepes)
BWk	Árido frio (desértico)
BWh	Árido quente (desértico)

Figura 2.1 - Classificação climática de Köppen-Geiger para a Península Ibérica.

Fonte: IM.

2.2 A vegetação da Península Ibérica

A vegetação da Península Ibérica é uma das mais ricas e variadas da Europa (Centro de Interpretação da Serra da Estrela/Município de Seia, 2009) tal se devendo, não só à diversidade de relevo, clima, orografia e formações geológicas, mas também a fatores históricos e culturais.

Nesta região encontram-se florestas (por exemplo, de carvalho, coníferas, eucalipto ou mistas), matos constituídos por arbustos e pequenas árvores, savana (montado, constituído por sobreiro), pastagem, bosques (por exemplo, de carvalho e pinheiro) e cerrado (conhecidos como tomillares em Espanha - matos baixos e densos junto ao litoral, adaptados ao vento marítimo).

Dentro desta diversidade, predominam as espécies esclerófilas sempre verdes (árvores e arbustos) que têm como principal característica o facto de estarem adaptadas a longos períodos de seca, verões quentes e períodos prolongados de chuva e, muitas delas, também ao fogo, do qual depende a reprodução de algumas dessas espécies (Pereira, 2005). Estas espécies toleram bem o stress hídrico, conservando a evapotranspiração através de folhas rígidas com cutícula grossa. Existem também semi-decíduas de Verão, herbáceas anuais e plantas suculentas, que pertencem a um grupo com estratégias de evitamento de stress, respetivamente, através de redução da respiração devido a uma menor área foliar, reprodução por ciclos de vida curtos com desenvolvimento apenas em alturas favoráveis e incorporação de tecidos de reserva de água.

2.2.1 Ocupação do solo e caracterização da vegetação

a) Portugal

Segundo o quinto Inventário Florestal Nacional, elaborado pela Autoridade Florestal Nacional de Portugal, referente ao uso do solo em 2005/06 (ver tabela 2.1), tem-se que 39% do território corresponde a floresta e 22% a matos.

A norte no litoral de Portugal encontram-se sobretudo árvores de folha caduca, como o pinheiro bravo, o castanheiro, o carvalho, a faia, predominando a sul e sudoeste árvores de folha persistente, como o sobreiro e a azinheira. As espécies arbóreas dominantes estão listadas na tabela 2.2 e a sua evolução ao longo dos anos encontra-se representada na figura 2.2.

Na década de 1995 a 2005, houve um crescimento de 3% da área da floresta portuguesa, observando-se as mais importantes subidas relativas no pinheiro manso (+68%), nos carvalhos (+15%) e no eucalipto(+10%). As reduções de ocupação de superfície mais significativas deram-se em relação ao castanheiro (-26%), à azinheira(-11%), ao pinheiro bravo (-9%) e a outras folhosas (-19%) e resinosas (-8%).

Tabela 2.1 - Usos do solo de Portugal Continental (sem as regiões autónomas).
Dados da AFN referentes a 2005/06.

Usos do Solo	Área (ha)	Ocupação do território (%)	Erro (%)
Floresta	3 458 557	39	0.4
Mato	1 926 630	22	0.6
Agricultura	161 653	2	2.4
Águas interiores	2 929 544	33	0.5
Outros usos	432 050	5	1.5

Tabela 2.2- Ocupação florestal de Portugal Continental por espécie dominante.
Dados da AFN referentes a 2005/06.

Espécie dominante	Área (ha)	Erro (%)	Ocupação florestal (%)	Ocupação do território (%)	Parcelas com indícios de fogos (%)
Pinheiro-bravo	885.019	1	25	10,0	18
Eucaliptos	739.515	1,1	21	8,3	18
Sobreiro	715.922	1,1	21	8,1	9
Azinheira	412.878	1,5	12	4,7	2
Carvalhos	150.020	2,5	4	1,7	19
Pinheiro-manso	130.386	2,7	4	1,5	5
Castanheiro	30.029	5,6	1	0,3	7
Acácias	4.098	15,3	0	0,0	10
Outras folhosas	82.383	3,4	2	0,9	5
Outras resinosas	25.099	6,2	1	0,3	13

Evolução da ocupação florestal

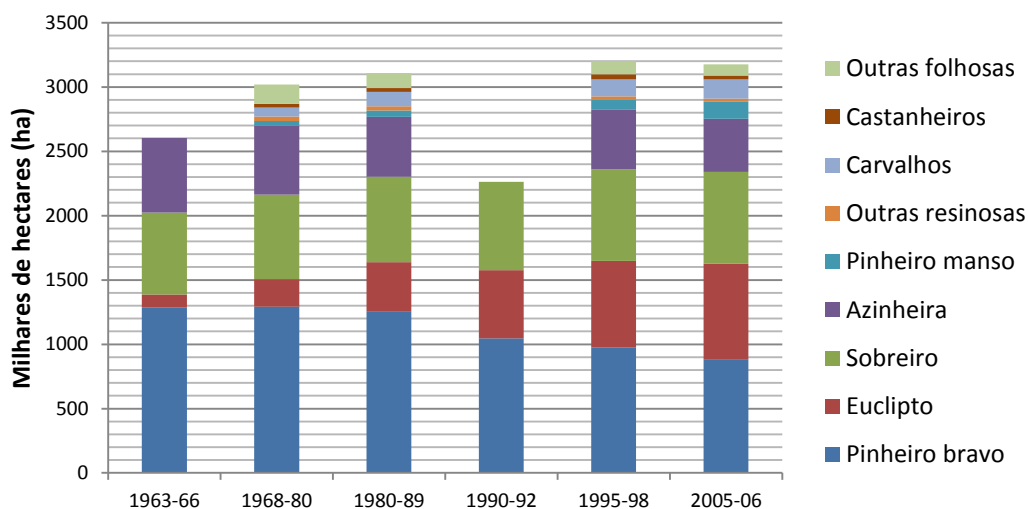


Figura 2.2 - Evolução da ocupação florestal por espécie dominante em Portugal Continental.
Dados da AFN referentes a 2005/06.

b) Espanha

Na tabela 2.3 apresenta-se os principais usos de acordo com o Terceiro Inventário Florestal Nacional de Espanha, realizado no período entre 1997 e 2008. As áreas de ocupação florestal, por espécie dominante e segundo a diversidade de espécies, são apresentadas na tabela 2.4, tendo-se que a composição florestal é maioritariamente constituída por pinheiros, seguidos pela azinheira, pelo carvalho e pelo eucalipto.

No norte de Espanha predominam espécies frequentemente denominadas por vegetação oceânica, a qual é constituída por árvores de folha caduca, como o carvalho, a faia e o castanheiro; no oeste observam-se pastagens com bosques de azinheiras; no litoral tem-se o pinheiro, o carvalho e vegetação arbustiva e, na parte central, a vegetação é quase inexistente, devido à presença do maciço central, onde o relevo e a erosão são elevados. Existem também as vegetações específicas de montanha, dos Pirenéus e das ilhas, com predominância de espécies próprias dessas regiões.

Tabela 2.3 - Tipos de ocupação vegetal do solo em Espanha
(incluindo as ilhas).
Dados do IFN3 (1990-2000).

Tipo de ocupação vegetal	Área (ha)
Bosque sem pastagem	14 939 380
Bosque com pastagem	2 384 372
Monte arborizado ralo e disperso	1 254 871
Total monte arborizado	18 578 624
Monte não arborizado	8 947 084
Total uso florestal	27 525 708
Total de uso não florestal	23 066 859
Superfície florestal arborizada	18 517 406
Superfície total florestal	27 525 710

Tabela 2.4- Áreas de ocupação florestal de Espanha
(incluindo as ilhas, por espécie dominante).
Dados do IFN3 (1990-2000).

ESPÉCIE	Superfície Monoespecífica (ha)	Superfície com mistura de coníferas (ha)	Superfície com mistura de espécies Quercus (ha)	Superfície com mistura de outras frondosas (ha)	Superfície com mistura de várias espécies de coníferas e frondosas (ha)	TOTAL (ha)
Pinheiro de alepo	1.920.627	146.419	41.012	7.223	39.070	2.154.351
Pinheiro-bravo	1.150.192	250.374	48.543	210.290	33.782	1.693.181
Pinheiro nórdico	969.137	203.443	-	3.683	283.471	1.459.734
Pinheiro larícia	651.366	191.236	65.812	-	71.817	980.231
Pinheiro manso	345.327	110.890	7.611	-	-	463.828
Azinheira	2.911.456	143.011	301.731	554.579	58.450	3.969.227
Carvalho (pardo/branco)	692.218	27.788	402.021	112.986	119.673	1.354.686
Eucalipto	539.937	172.308	-	52.139	57.735	822.119
Faia	432.904	25.399	28.142	23.524	15.337	525.306
Carvalho (roble/alvo)	298.472	-	96.308	152.424	53.866	601.070

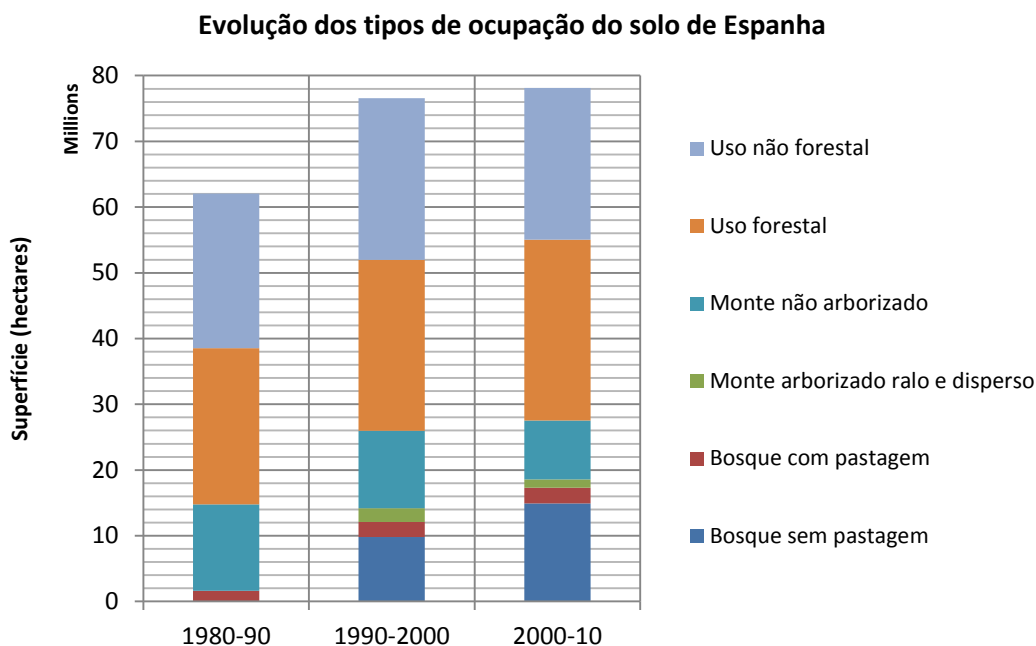


Figura 2.3 - Evolução dos tipos de ocupação do solo de Espanha, segundo os dados do IFN3.

2.2.2 Valor económico e ambiental da vegetação ibérica

No que diz respeito à valorização do património florestal, atente-se na tabela 2.5 que apresenta um resumo das estimativas da quantidade total de biomassa existente, para Portugal, e na tabela 2.6 onde se apresentam estimativas do valor económico estimado desta estrutura natural, para a Espanha, elaboradas pelos dois países ibéricos.

a) Portugal

Tabela 2.5- Quantidade total de biomassa existente por espécie dominante em Portugal

Espécie	Biomassa total (árvores vivas e mortas) kTon	Erro %
Pinheiro-bravo	49 690	5
Eucaliptos	36 252	6,9
Sobreiro	34 925	4,3
Azinheira	10 671	5,6
Carvalhos	6 527	12,9
Pinheiro-manso	5 325	12,8
Castanheiro	2 407	39,1
Acácias	716	19,3
Outras folhosas	4 989	35,5
Outras resinosas	963	30,3
TOTAL	152 465	

b) Espanha**Tabela 2.6- Estimativa do valor económico da floresta espanhola (IFN3, 2010)**

Superfície florestal (ha)	Quantidade total de biomassa existente (kTon de matéria seca)	Valor e renda económica da superfície florestal (€)			Valor por hectare (€)		
		produtivo	recreativo	ambiental	produtivo	recreativo	ambiental
18 571 403 26	904 307, 45	76 340	37 768	95 261	4 000	1 990	5 030
TOTAL		209 369			11 020		

2.2.3 Ecologia do fogo

Tendo em conta a prevalência do fogo nas zonas mediterrânicas (Giovanni, et al., 2001), as espécies presentes denotam uma pressão seletiva exercida por parte deste fator.

Dependendo do tipo, severidade e duração do fogo, para além de outros fatores locais, como a entrada de espécies vizinhas e as condições pós-fogo, existem duas estratégias típicas de regeneração das espécies: rebentação obrigatória ("obligate sprouters" - esclerófilas) ou germinação obrigatória ("obligate seeders" - semi-decíduas). A primeira estratégia consiste no desenvolvimento rápido a partir de gemas latentes à superfície do solo, protegidas das temperaturas do solo por toijas. A recuperação varia entre 5 a 10 anos. Já a segunda estratégia é mais dependente das condições ambientais, uma vez que se torna necessário o crescimento completo de novas plantas.

Torna-se importante conhecer a combustibilidade e o risco de incêndio associado às diferentes espécies, bem como a sua estratégia de regeneração, sendo esta relevante não só para o estudo da recuperação da vegetação, como também para a compreensão da sucessão da vegetação e da reincidência do fogo num dado local. Esta caracterização em relação às espécies predominantes na região em estudo encontra-se resumida na tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Resumo de parâmetros do risco de incêndio e da ecologia do fogo para as espécies predominantes da região ibérica (adaptado de Fernandes, 2009)

Espécies predominantes	Caracterização do risco de incêndio	Incidência e severidade do fogo	Estratégia de regeneração e resiliência
Azinhreira	Reduzida altura e densidade favorecem fogos rápidos que afetam as copas se há arbustos em quantidade significativa. Risco de incêndio é inferior à disponibilidade, elevado e extremo em 29-51% dos casos.	Baixa incidência; severidade variável.	Rebentação obrigatória; Resiliência elevada (sobrevivência >90%)
Sobreiro	Fogos rápidos e intensos em montados baixos, combustibilidade reduzida em montados de altura superior. Risco de incêndio proporcional à disponibilidade, elevado e extremo em 23-59% dos casos.	Incidência moderada; severidade variável, frequentemente elevada.	Rebentação obrigatória; Resiliência elevada (sobrevivência 80-95%)
Eucalipto	Baixa vulnerabilidade para o eucaliptal alto e aberto, alta para eucaliptal baixo e fechado. Risco de incêndio proporcional à disponibilidade, reduzido em 30% e extremo em 42% dos casos.	Incidência bastante elevada; severidade elevada.	Rebentação ou germinação obrigatória; Resiliência muito elevada (sobrevivência >95%)
Pinheiros	Alta vulnerabilidade para pinhais bravos baixos e baixa para pinhais altos e abertos, bem como para pinhais mansos e silvestres altos e fechados. Risco de incêndio superior à disponibilidade (pinheiro bravo) elevado e extremo em 23-60% dos casos.	Incidência máxima para o pinhal bravo, mínima para o pinhal manso; severidade muito variável, elevada para o pinheiro-bravo.	Germinação obrigatória; Resiliência variável, elevada para o pinheiro-bravo e pinheiro de alepo, segundo a proporção de sementes na copa.
Folhasas Caducifólias	Velocidade e intensidade do fogo moderadas em florestas baixas e densas, fogo de copas frequente, reduzida combustibilidade de sotos e florestas altas e fechadas. Risco de incêndio inferior à disponibilidade, elevado e extremo em 31-49% dos casos.	Incidência moderada para o castanheiro e bastante elevada para as espécies do carvalho; Severidade reduzida a moderada.	Rebentação obrigatória; Resiliência elevada (sobrevivência >80%), inferior, no entanto, à das folhasas perenifólias.
Resinosas de agulha curta	Risco de incêndio extremo a reduzido consoante a idade das árvores (maior para mais jovens).	Incidência moderadamente elevada. Severidade elevada para árvores jovens e reduzida a moderada para árvores adultas.	Rebentação obrigatória; Resiliência dependente da severidade.

3. Dados e pré-processamento

3.1 O sensor MODIS

O instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é um espectro-radiômetro que permite medir o espectro das fontes de radiação eletromagnética. Um espectro de radiação refere-se à distribuição da intensidade radiativa ($\text{W/m}^2 \cdot \mu\text{m}\cdot\text{sr}$) em função da frequência da onda eletromagnética.

O instrumento MODIS desloca-se a uma altitude de 705 km, a bordo dos satélites Terra e Aqua, que fazem o varrimento de um Pólo ao outro, segundo uma órbita heliosíncrona (isto é, segundo um plano de órbita fixo para um observador situado no Sol) cruzando o equador no mesmo local e à mesma hora solar local da manhã, de norte para sul, no caso do satélite Terra e à mesma hora solar local da tarde, de sul para norte, no caso do satélite Aqua. Em conjunto, estes satélites demoram 1 a 2 dias a cobrir toda a superfície terrestre. O seu desenvolvimento completou-se em meados de 1995, tendo o MODIS integrado o satélite Terra, lançado a 18 de Dezembro de 1999, a que se seguiu o satélite Aqua, a 4 de Maio de 2002.

A abrangência espectral do instrumento MODIS é de 36 bandas ou grupos de frequências, que vão desde $0.4 \mu\text{m}$ a $14.4 \mu\text{m}$, possuindo muito baixa resposta fora das bandas abrangidas e uma sensibilidade radiométrica de 12 bits. A resolução nominal das imagens criadas vai desde 250 m, para duas das bandas espectrais, passando por 500 m, para cinco das bandas espectrais e ascendendo a 1km, para as restantes 29 bandas espectrais. Para uma faixa de 2.330 km, consegue-se um padrão de digitalização de cerca de 55 graus.

Neste trabalho foi utilizada uma série de dados de fogos ativos provenientes das imagens criadas pelo MODIS, nomeadamente, para a Península Ibérica durante o período de 1 de Janeiro de 2001 a 31 de Dezembro de 2009, cuja apresentação e análise será fornecida mais à frente.

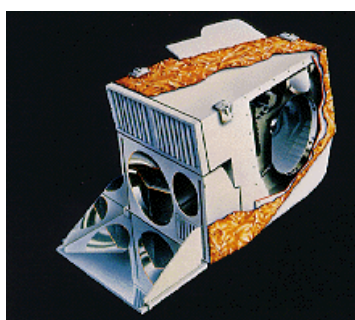


Figura 3.1 - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).

Fonte: NASA.

Os dados utilizados são referentes a séries diárias do número de fogos ativos identificados pelo instrumento MODIS durante o período entre 1 de Janeiro de 2001 e 31 de Dezembro de 2009, estando estes discriminados através do dia e da localização geográfica (coordenadas geográficas).

3.2 O projeto Global Land Cover 2000

Os mapas de coberto vegetal, utilizados neste trabalho, têm origem no projeto Global Land Cover 2000 (GLC2000). Trata-se de um projeto levado a cabo pela Unidade de Monitorização Global de Vegetação (Global Vegetation Monitoring Unit, GMV Unit) pertencente ao serviço de apoio da Comissão Europeia JRC (Joint Research Committee) e que teve a colaboração de mais de 30 equipas de investigação à volta do globo, as quais contribuíram para a consistência e precisão dos resultados a nível regional.

O GLC teve como objetivo a constituição de uma base de dados global da cobertura do solo, utilizando dados obtidos por um período de 14 meses (01-NOV-99 a 31 DEZ-00) pelo instrumento VEGETATION a bordo do satélite SPOT4, lançado a 24 Março de 1998 pela França, Comissão Europeia, Bélgica, Itália e Suécia. Este tipo de base de dados foi pioneira, tendo coberto toda a superfície do globo com uma resolução de 1km e tem sido referenciada para projetos de diverso tipo, como o Millennium Ecosystems Assessment. Originalmente, o seu objetivo foi a recolha de informações sobre a cobertura do solo pertinentes a uma série de iniciativas internacionais relacionadas com o ambiente e as mudanças climáticas - Convenções Internacionais sobre as Mudanças Climáticas, a Convenção para o Combate à Desertificação, a Convenção de Ramsar e o Protocolo de Kyoto.

Até à obtenção final dos mapas de coberto vegetal, são necessários vários procedimentos de pré-processamento e classificação. A nível dos dados obtidos pelo VEGETATION, foram aplicados algoritmos de modo a se efetuarem correções geométricas, radiométricas, atmosféricas, que incluem a contabilização do efeito da dispersão da radiação por parte dos aerossóis, bidirecionais e da contaminação residual.

Após a aplicação de algoritmos anteriormente referidos, os dados foram trabalhados a nível das regiões que se podem identificar no mapa da figura 3.2, de modo a serem harmonizados para a criação do mapa final de coberto vegetal. No caso do Sul da Europa, após a inserção dos dados das séries diárias do VEGETATION, foram aplicadas correções para a triagem de nuvens e foram realizadas classificações não supervisionadas para 110 clusters iniciais, os quais foram legendados utilizando como referência os dados do Projeto CORINE e, como dados auxiliares, os do PELCOM e do Landsat TM Quicklooks.

Os mapas de coberto vegetal estão legendados de acordo com o LCCS (Land Cover Classification System), um sistema estandardizado e internacional, desenvolvido pelo FAO (Food and Agriculture Organization on United Nations) e pelo UNEP (United Nations Environment Programme). Este sistema é caracterizado por uma hierarquia que permite ajustar a quantidade de informação disponível ao nível de detalhe temático, permitindo a comparação de classes de coberto independentemente do país e da origem dos dados.

Na figura 3.3, pode ver-se um corte do mapa de vegetação do GLC2000 para a região da Península Ibérica, acompanhada da respetiva legenda adaptada a partir das classes de referência à vegetação existente na região Europeia. Neste mapa é possível observar-se as classes de vegetação predominantes à data do estudo.

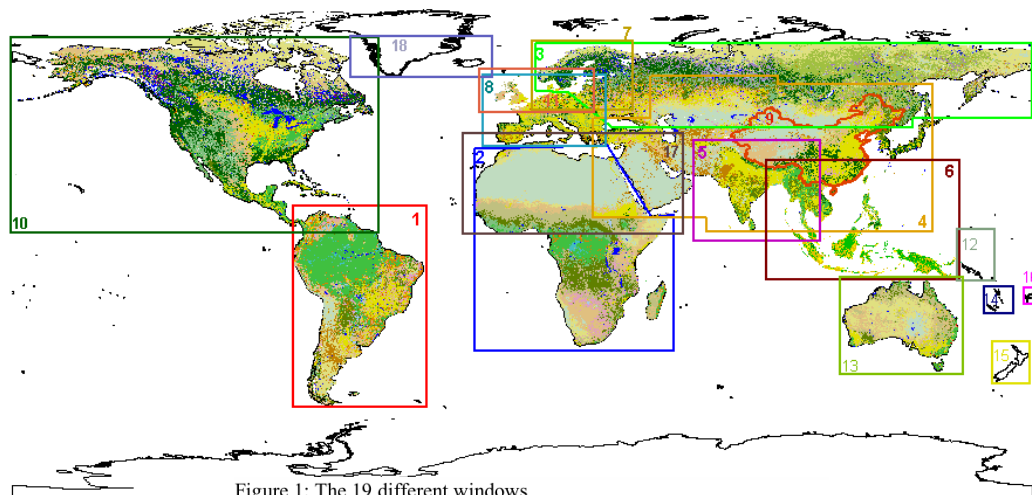


Figure 1: The 19 different windows

Table 1: Regional windows

Number	Region
1.	South America
2.	Africa
3.	Northern Eurasia
4.	Asia
5.	South Central Asia
6.	South East Asia
7.	North East Europe
8.1	Europe
8.2	Southern Europe
9.	China
10.	North America
11.	North West Europe
12.	Solomon Islands
13.	Australia
14.	New Caledonia and Vanuatu
15.	New Zealand
16.	Fijian Islands
17.	North Africa
18.	Greenland and Iceland
19.	Hawaiian Islands

Figura 3.2 - Regiões globais definidas segundo os grupos locais de estudo (GLC-2000).

Fonte: JRC,2010

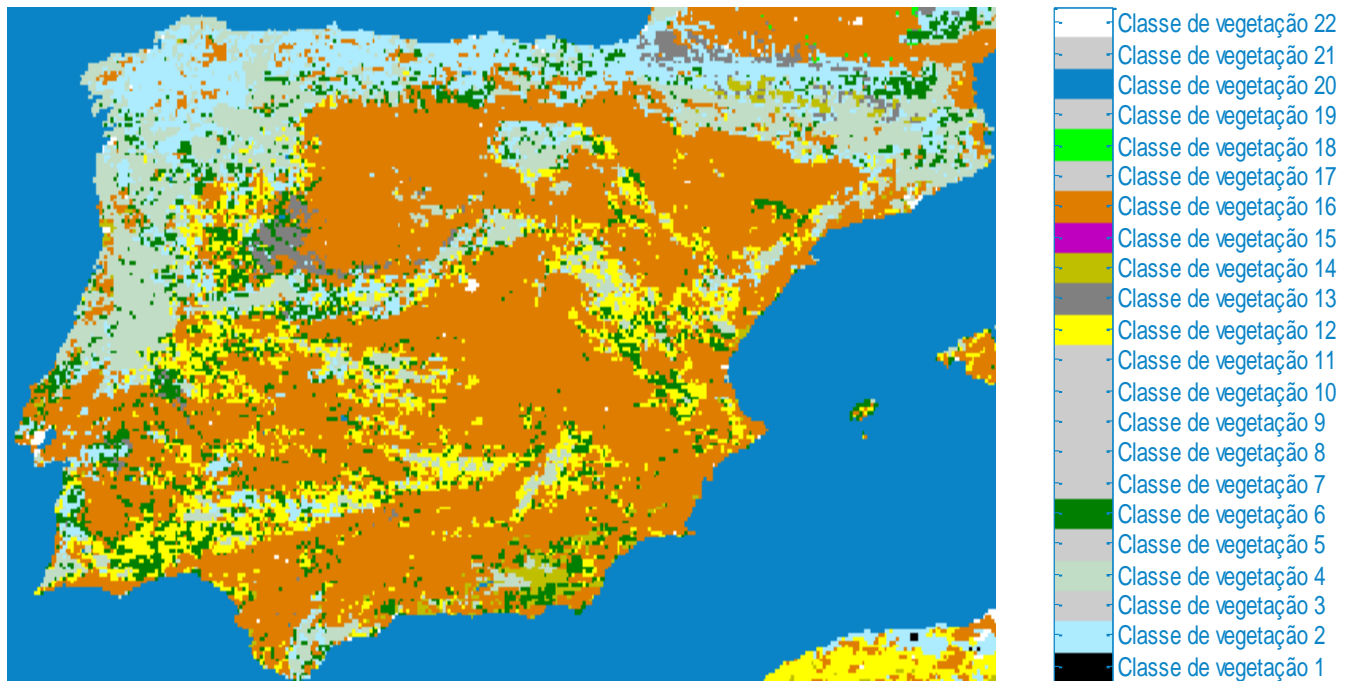


Figura 3.3 - Mapa das classes de vegetação predominantes na Península Ibérica. As classes representadas a cinza (3,5,7-11,17,19 e 21) não existem nesta região.

Tabela 3.1 - Legenda das classes de vegetação utilizadas pelo GLC2000.

1	Tree Cover, broadleaved, evergreen
2	Tree Cover, broadleaved, deciduous, closed
3	Tree Cover, broadleaved, deciduous, open (open 15-40% tree cover)
4	Tree Cover, needle-leaved, evergreen
5	Tree Cover, needle-leaved, deciduous
6	Tree Cover, mixed leaf type
7	Tree Cover, regularly flooded, fresh water (& brackish)
8	Tree Cover, regularly flooded, saline water
9	Mosaic: Tree cover / Other natural vegetation
10	Tree Cover, burnt
11	Shrub Cover, closed-open, evergreen
12	Shrub Cover, closed-open, deciduous
13	Herbaceous Cover, closed-open
14	Sparse Herbaceous or sparse Shrub Cover
15	Regularly flooded Shrub and/or Herbaceous Cover
16	Cultivated and managed areas
17	Mosaic: Cropland / Tree Cover / Other natural vegetation
18	Mosaic: Cropland / Shrub or Grass Cover
19	Bare Areas
20	Water Bodies (natural & artificial)
21	Snow and Ice (natural & artificial)
22	Artificial surfaces and associated areas

3.3 Séries de dados de fogos ativos

Na figura 3.4, apresentam-se algumas estatísticas mensais respeitantes aos fogos ativos observados na Península Ibérica durante os anos de 2001 a 2009, sendo de notar o efeito de alavanca na média efetuado pelas ocorrências extremas.

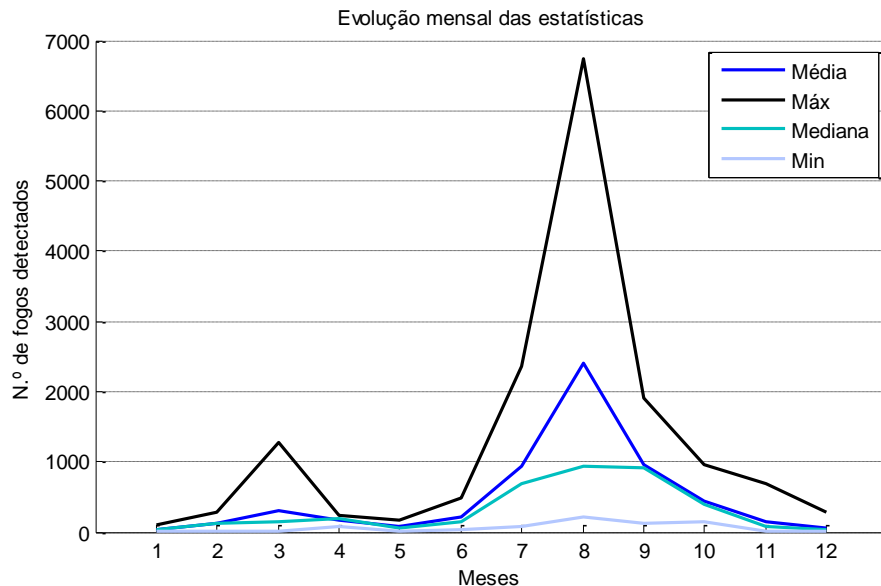


Figura 3.4 - Evolução mensal das estatísticas do n.º de ocorrências da amostra (2001-2009).

Nas Figuras 3.5, 3.6 e 3.7 apresentam-se histogramas das distribuições do número de fogos detetados na Península Ibérica em função dos anos, dos meses para o total do período de estudo e dos meses para cada ano separadamente.

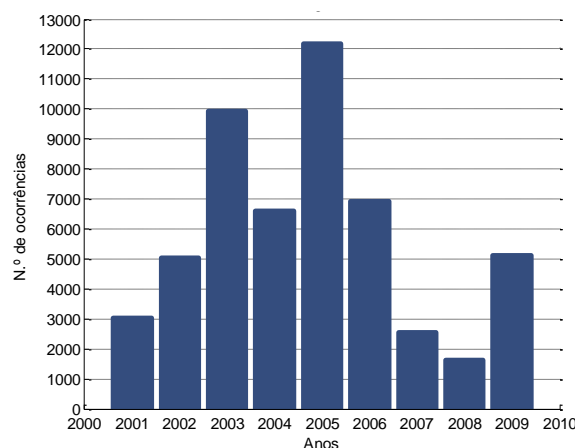


Figura 3.5 - Distribuição anual do n.º de ocorrências da amostra (2001-2009).

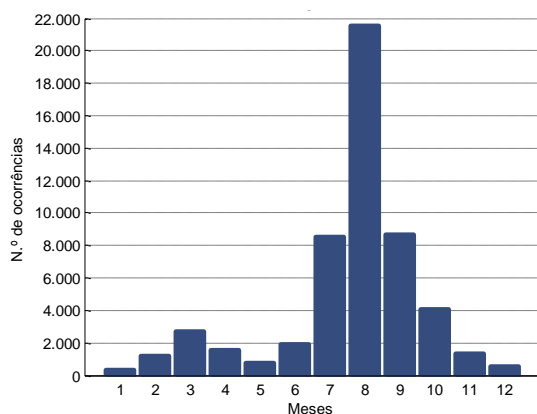


Figura 3.6 - Distribuição mensal do n.º de ocorrências da amostra (2001-2009).

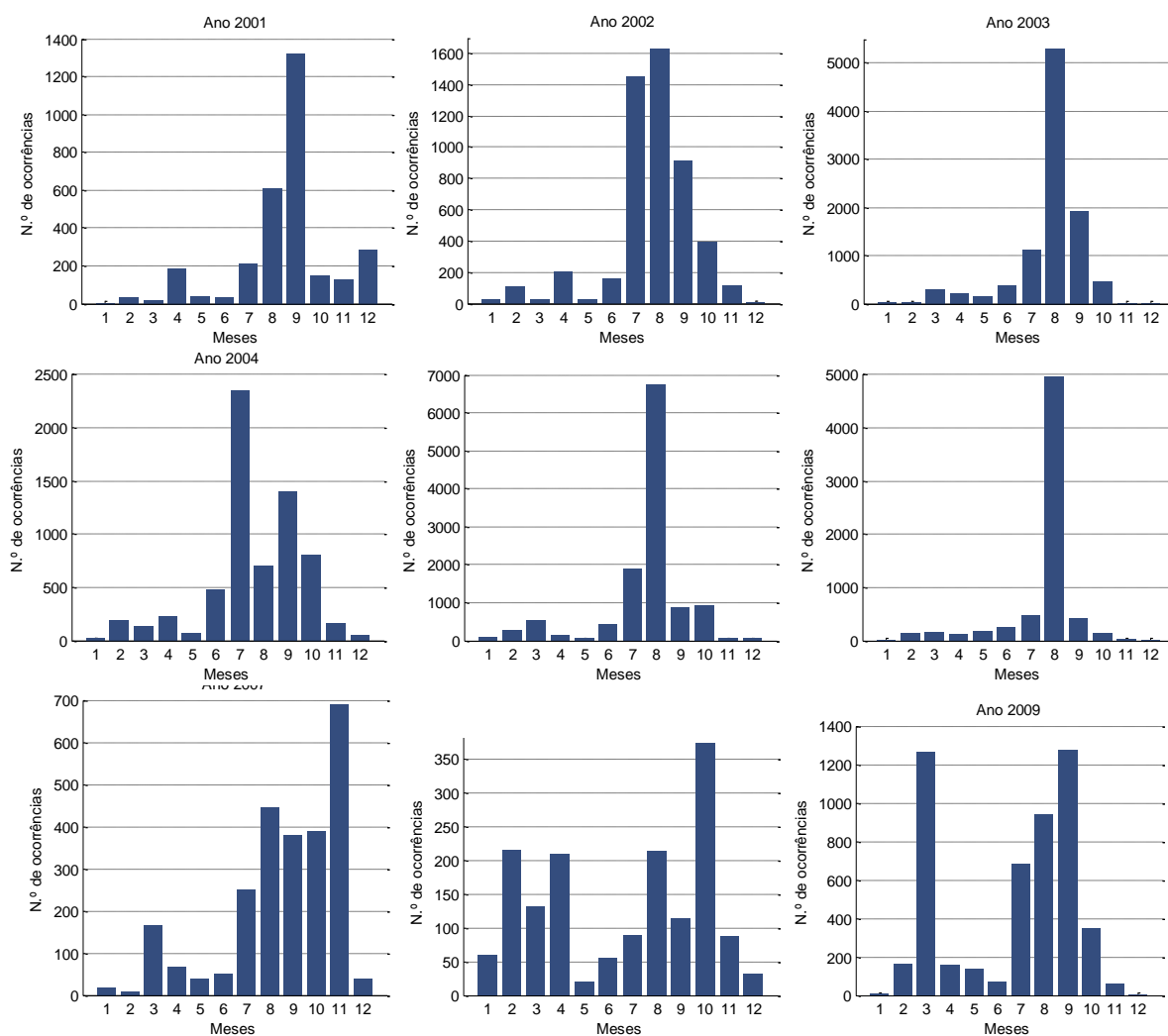


Figura 3.7 - Historial de ocorrências mensais da amostra (2001-2009).

Cada gráfico ilustra as ocorrências mensais de cada ano.

Através do gráfico da figura 3.5 é possível observar que existe uma grande variabilidade interanual, podendo identificar-se, para o período de estudo, episódios extremos em 2003 e em 2005 e mínimos de atividade em 2007 e em 2008. Pode, assim, dizer-se que esta série é representativa da variabilidade interanual dos fogos da vegetação.

Relativamente à variabilidade intra-anual, a distribuição mensal do número de ocorrências, representada pelo gráfico da figura 3.6, evidencia um pico de atividade no mês de Agosto, sendo esta relativamente alta também nos meses de Julho, Setembro e Outubro. O mês de Março pode considerar-se como um segundo máximo relativo, indicando que existem duas épocas importantes de fogos por ano.

Em termos semanais, parece haver um maior número de fogos em certos dias da semana, nomeadamente, ao domingo, o que já foi verificado num estudo anterior. No entanto, a significância estatística deste facto e a sua possível motivação sociocultural não está ainda comprovada.

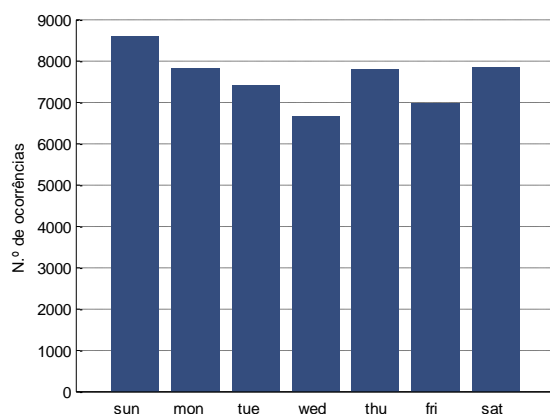


Figura 3.8 - Distribuição semanal do n.º de ocorrências da amostra (2001-2009).

3.4 A função de distribuição de Pareto

Diversos tipos de catástrofes e de fenómenos naturais abióticos (desde avalanches a sismos) têm sido estatisticamente descritos, de forma vantajosa, a “distribuições de cauda pesada”, sendo de referir que diversos estudos indicam que os regimes de fogos seguem uma distribuição do mesmo tipo (Holmes, et al., 2008).

No que diz respeito à distribuição da dimensão dos fogos da vegetação, podem mencionar-se os estudos de Robertson (1972), Montroll and Shlesinger (1982) e Strauss et al.(1989), Alvarado et al. (1998) e Moritz (1997) estudaram as possibilidades de se utilizar as distribuições log-normal, seminormal, exponencial e uniforme; diferentes formas da distribuição de Pareto e ainda da distribuição de Frechet.

Strauss et. al.. (1989) demonstrou que a distribuição de Pareto na sua forma truncada é a que se adequa de forma mais consistente às distribuições do tamanho dos fogos observadas (Strauss, et al., 1989). Num estudo semelhante, levado a cabo por Schoenberg et. al.. (2003), é dada maior importância às variantes afunilada e truncada da Pareto e é feita uma comparação entre as duas, sendo concluído que a forma afunilada é a preferível para o estudo da variabilidade do tamanho dos fogos da vegetação. Neste estudo pretende-se avaliar se, tal como a área ardida, a frequência dos fogos na região considerada segue um modelo da distribuição de Pareto e se esse modelo se aplica quando são tidos em conta os tipos de vegetação presentes.

A distribuição de Pareto foi introduzida pelo economista Vilfredo Pareto em 1897, associada a um estudo de natureza económica acerca da distribuição da riqueza da população de Itália. O princípio inerente a esta distribuição é conhecido como princípio de Pareto ou “regra dos 80-20” e diz-nos que 80% dos efeitos provêm de 20% das causas. Esta é uma regra atualmente bem conhecida em diversas áreas como a economia, as vendas, a demografia, a informática, a saúde e segurança ocupacional, entre uma série de outros fenómenos, incluindo catástrofes naturais.

Após o trabalho clássico por volta de 1900, a distribuição estatística de Pareto tornou-se uma referência no ajuste de dados de variados contextos, cuja distribuição é fortemente assimétrica à direita, denominada por distribuição “de cauda pesada” ou “de cauda longa” (Strauss, et al., 1989).

A distribuição utilizada no seguimento deste trabalho, como será descrito com mais pormenor mais à frente, foi a distribuição generalizada de Pareto. A forma generalizada da distribuição de Pareto aplica-se em diversas áreas socioeconómicas, científicas e tecnológicas, incluindo a análise de eventos extremos como picos anuais de precipitação, frequência de cheias, picos de altura das ondas e do nível do mar, picos de vento incidente em edifícios, forças de resistência de materiais e cargas em aviões (Arshad, et al., 2003).

A distribuição de Pareto possui três formas básicas: distribuições com parâmetro de forma negativo, cujas caudas são finitas; distribuições com parâmetro de forma positivo, cuja cauda decresce de forma polinomial e distribuições cujo decréscimo da cauda é exponencial, com parâmetro de forma igual a zero.

A distribuição de Pareto apresenta, conforme o parâmetro de forma, caudas mais longas do que a distribuição exponencial e, quanto maior for a cauda, maior será a variância entre os valores de uma distribuição desse tipo com a mesma média.

A função da distribuição de probabilidade da distribuição generalizada de Pareto com os parâmetros de forma e escala, k e σ , respectivamente, e com parâmetro de localização, θ , é dada pela seguinte expressão:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left(1 + k \frac{(x-\theta)}{\sigma} \right)^{-1-\frac{1}{k}}, & \text{se } k > 0 \text{ e } \theta < x \text{ ou } \theta < x < -\frac{\sigma}{k} \\ \left(\frac{1}{\sigma} \right) e^{-\frac{(x-\theta)}{\sigma}}, & \text{se } k = 0 \text{ e } \theta < x \end{cases} \quad (1)$$

3.5 Degradação dos fogos ativos e dos mapas de vegetação

Uma das variáveis mais importantes na análise da ocorrência de fogos e na estimativa de risco de incêndio é a frequência dos mesmos, sendo esta talvez uma das mais utilizadas enquanto descritor de regimes de fogos (Li, 2002).

Este descritor pode ser calculado de três formas distintas: calculando os períodos que medeiam entre dois episódios de fogo atingindo determinado local; contabilizando as ocorrências de fogo que se

observam na região sob estudo, durante um determinado intervalo de tempo (por exemplo num dia); e, por fim, em que intervalo de tempo as áreas ardidadas acumuladas de uma dada região atingem a área total correspondente a essa região (Li, 2002).

No presente caso, estamos perante a segunda situação, em que a conceção de frequência de fogos é feita localmente (isto é, em que cada ponto é representativo de uma dada região que se estende em torno deste).

Tendo em mente o objetivo prático deste trabalho - relacionar características da vegetação com a variabilidade dos fogos na Península Ibérica- a partir das séries de dados iniciais, foi definida uma grelha espacial para a área de estudo com um espaçamento de $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ de latitude vs. longitude (figura 3.9), na qual se procedeu a uma caracterização da distribuição espacial de fogos ativos e da vegetação associada.

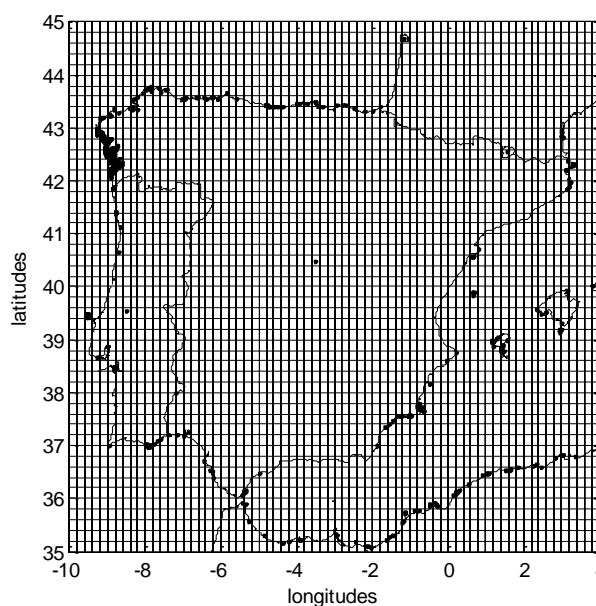


Figura 3.9 - Grelha espacial para a degradação de fogos ativos.

Na figura 3.10 identificaram-se as quadrículas da malha de $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ nas quais se observa a ocorrência de pelo menos um fogo ativo durante o período em estudo (2001-2009), representando-se na figura 4.3 um histograma do número de quadrículas em função do número de fogos ativos observados durante o mesmo período.

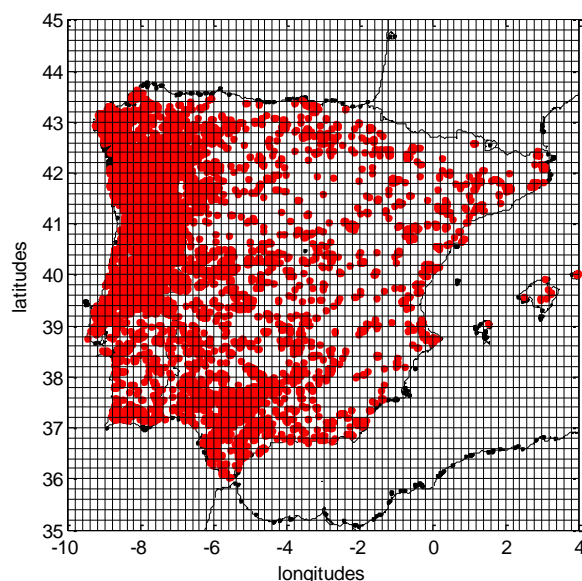


Figura 3.10 - Quadrículas com um ou mais fogos ativos (meses Julho - Agosto).

Na figura 3.11 apresentam-se histogramas do número de quadrículas onde se observaram determinados números de fogos ativos. Pode observar-se que se trata de uma distribuição extremamente enviesada à direita, sugerindo a utilização de um modelo da família das distribuições de tipo exponencial (cf. secção 3.4). Tal possibilidade é ainda corroborada pelo facto de ser linear a relação entre o logaritmo do número de quadrículas em função do logaritmo do número de ocorrências (figura 3.11, painel inferior).

A fim de se procurar identificar a existência e possíveis relações entre o tipo de coberto vegetal e o tipo de regime de fogo, procedeu-se a uma degradação da base de dados GLC200 para as quadrículas da grelha espacial de $0.2^\circ \times 0.2^\circ$, tendo-se em seguida associado a cada quadrícula o valor da percentagem relativa dos tipos de vegetação que a compõem. Na figura 3.12, apresentam-se os resultados para os sete tipos de vegetação mais abundantes, nomeadamente, as árvores folhosas de folha caduca (classe 2), as coníferas sempre verdes (classe 4), a floresta mista (classe 6), os arbustos de folha caduca (classe 12), as herbáceas (classe 13), as herbáceas e arbustos dispersos (classe 14) e as áreas cultivadas (classe 16).

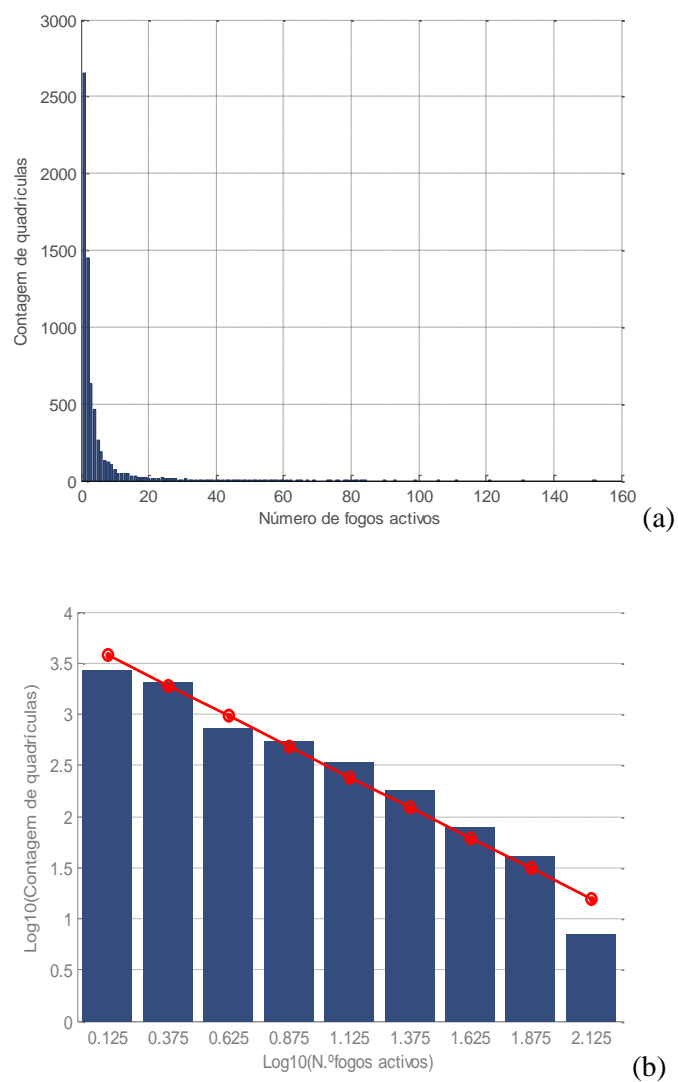


Figura 3.11 - Contagem das quadrículas com exatamente x número de fogos ativos (meses de Julho-Agosto de toda a amostra):
a)- representação linear; b) - representação logarítmica com regressão linear.

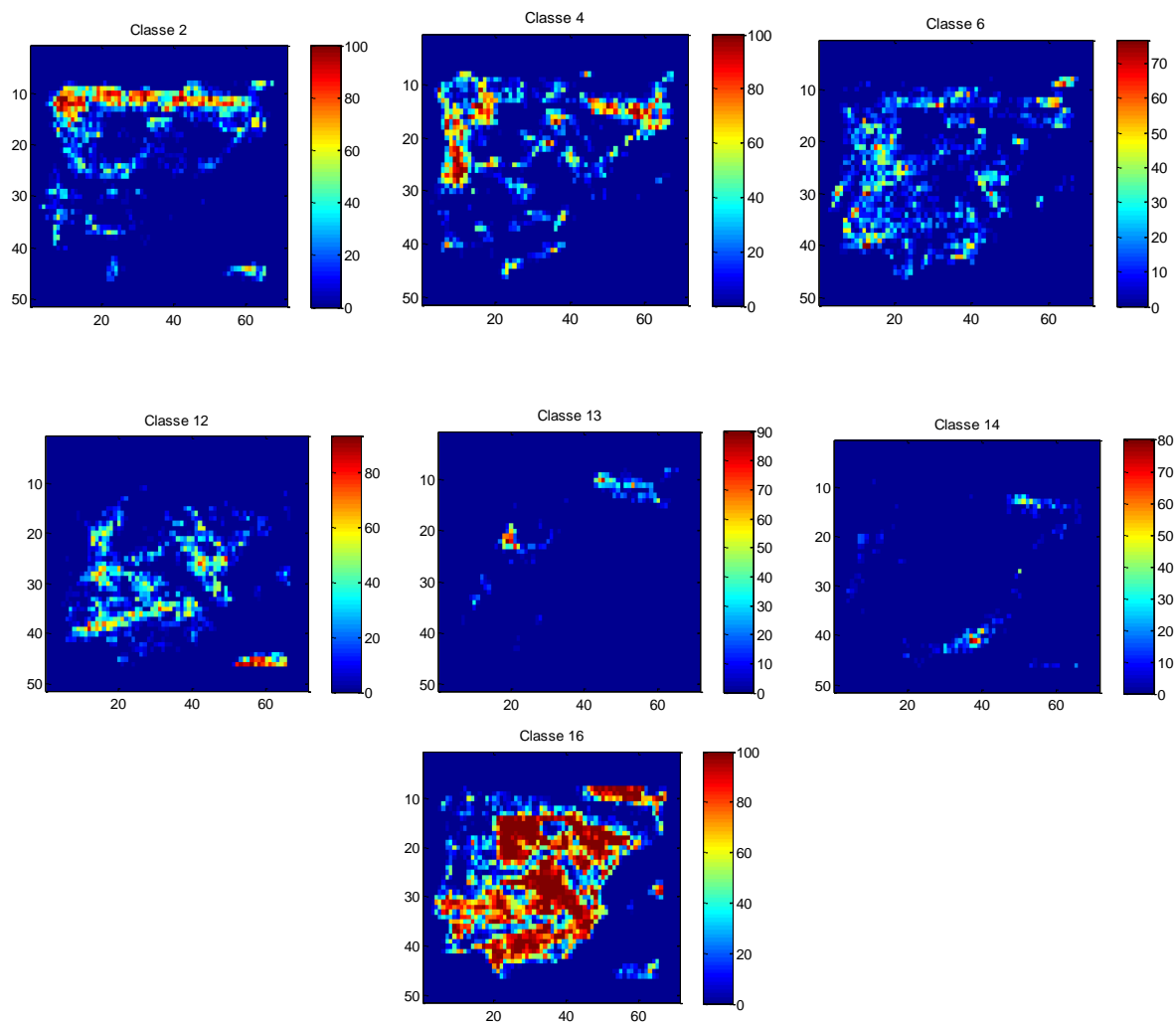


Figura 3.12 - Mapas da percentagem de cada classe de vegetação, por quadrícula.
As classes referem-se às classes da legenda do sistema utilizado pelo GLC2000.

4. Resultados

4.1 Análise de *clusters*

Com o intuito de se identificar regiões de comportamento semelhante no que respeita à ocorrência de episódio de fogo, recorreu-se ao método *k-means*, o qual permite efetuar uma análise não supervisionada de *clusters* baseada na distribuição de ocorrências mensais de fogos. Tendo em conta que esta variável apresenta um forte ciclo anual no que respeita, quer à média, quer ao desvio-padrão (figura 4.1), procedeu-se a uma normalização das ocorrências subtraindo a cada célula de determinado mês o respetivo valor mensal global e dividindo esta diferença pelo correspondente desvio-padrão mensal global. Na figura 4.2 apresentam-se os resultados obtidos para um número pré-definido de seis *clusters*.

Desta análise de *clusters* resultou a constituição de quatro conjuntos de regiões, as quais se podem caracterizar através do tipo de vegetação predominante (figura 4.4) e através dos meses onde se observam picos de ocorrências de fogos ativos (figura 4.5). As quatro regiões consideradas (regiões A, B, C e D) são aquelas que se podem distinguir através do mapa da figura 4.3.

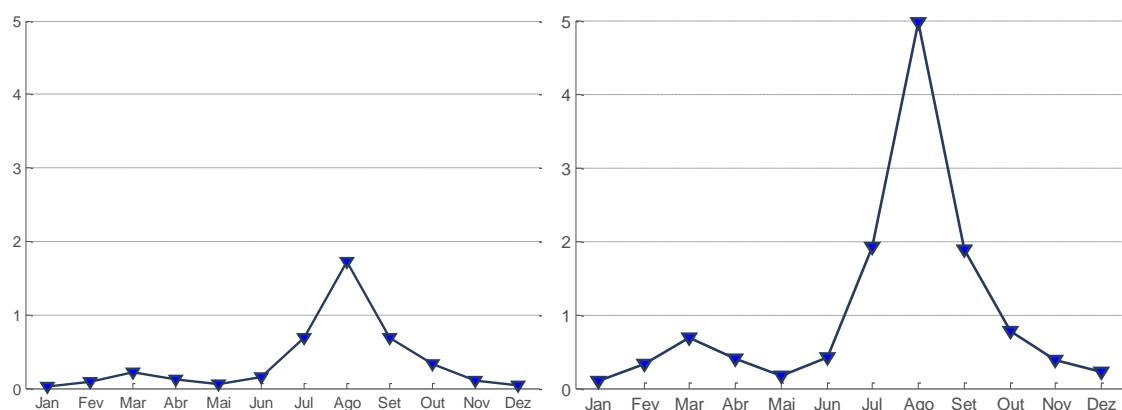


Figura 4.1 - Média global (à esquerda) e desvio padrão global (à direita) do número médio de fogos ativos



Figura 4.2 - Regiões da Península Ibérica obtidas pela análise de *clusters*.

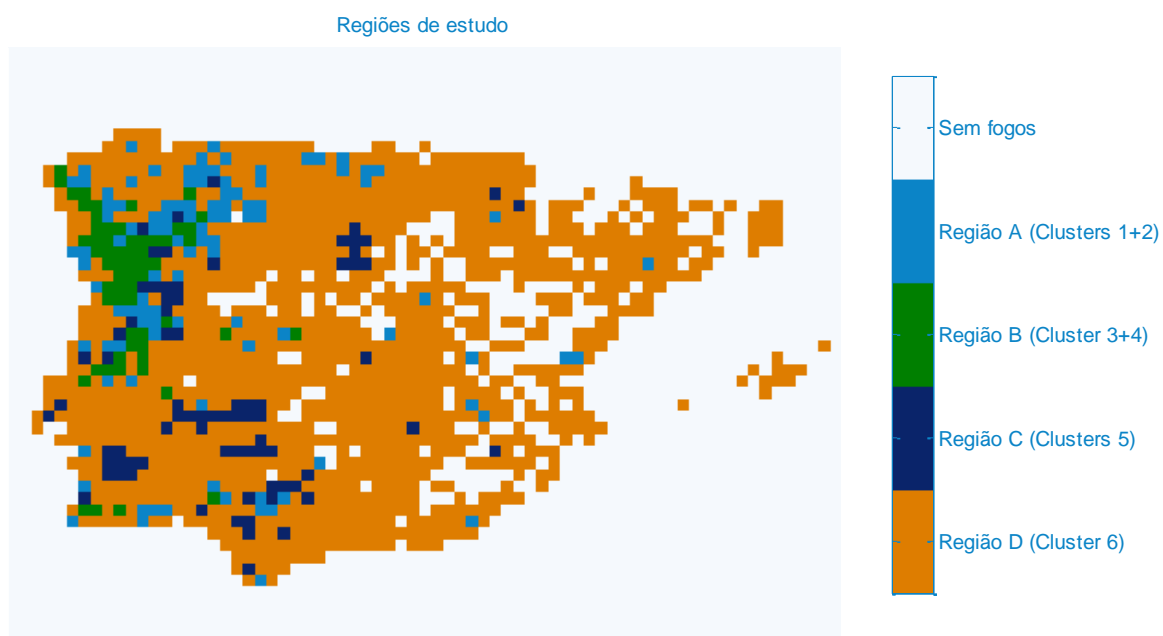


Figura 4.3 - Regiões de estudo definidas a partir dos *clusters* obtidos.

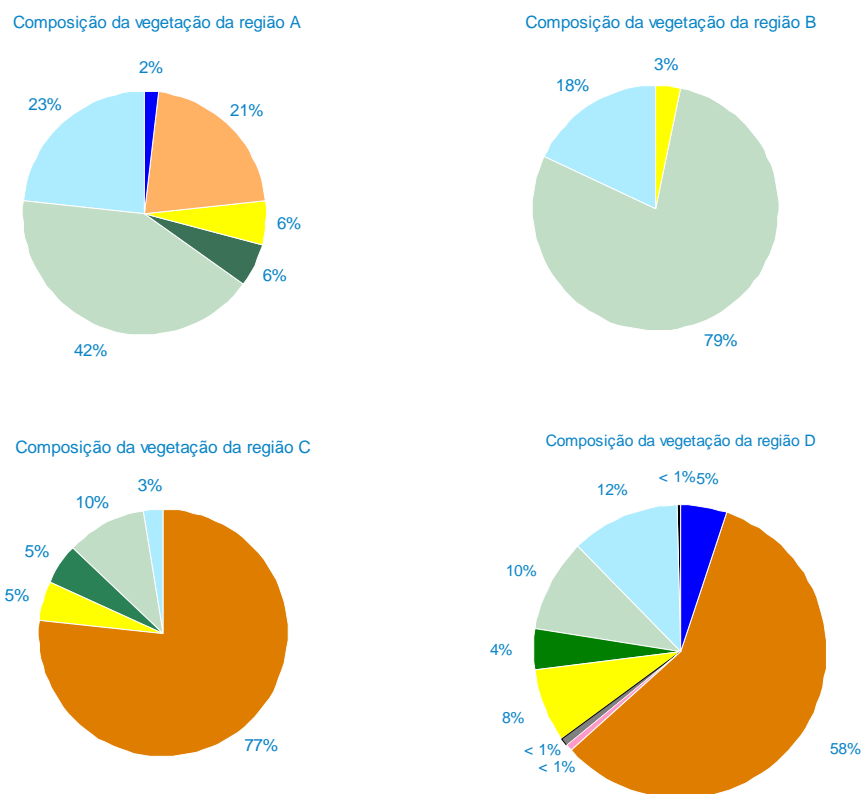
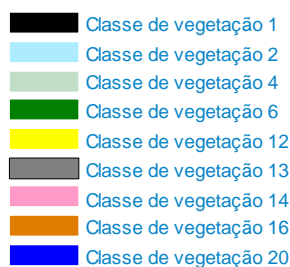


Figura 4.4 - Composição da vegetação das regiões consideradas.
Legenda:



A região A aglomera espacialmente algumas quadrículas concentradas no norte de Espanha e outras espalhadas pela península. Neste agrupamento, a vegetação é predominantemente constituída por coníferas sempre verdes, folhosas decíduas e áreas cultivadas, existindo também alguma vegetação arbustiva significativa e os picos de ocorrências de fogo ocorrem sobretudo em Agosto e em Março.

A região B distribui-se, de forma bem definida, pelo norte de Portugal e parte da Galiza e ainda por algumas quadrículas a oeste de Espanha e a sul de Portugal. A vegetação é constituída maioritariamente por coníferas sempre verdes e por uma percentagem significativa de folhosas decíduas. Os picos de atividade do fogo ocorrem também em Março e Agosto para estas localizações.

A região C constitui algumas manchas do interior e do sul da península, bem como algumas quadrículas do litoral de Portugal, sendo a sua ocupação sobretudo constituída por parcelas cultivadas. Neste agrupamento a maior incidência de fogos verifica-se nos meses de Setembro e de Outubro.

Por último, a região D distribui-se de forma homogénea por toda a Península Ibérica, sendo a de maior área e possuindo a maior diversidade em termos de vegetação. As parcelas cultivadas dominam também todo este território, a que se segue a percentagem de ocupação por floresta, cujos tipos, por ordem decrescente de ocupação são folhosas decíduas (floresta fechada), coníferas sempre verdes, floresta mista e folhosas sempre verdes. Também se encontram presentes a vegetação arbustiva e a cobertura herbácea fechada ou esparsa e água. A maior incidência de fogos para este agrupamento observa-se no mês de Agosto.

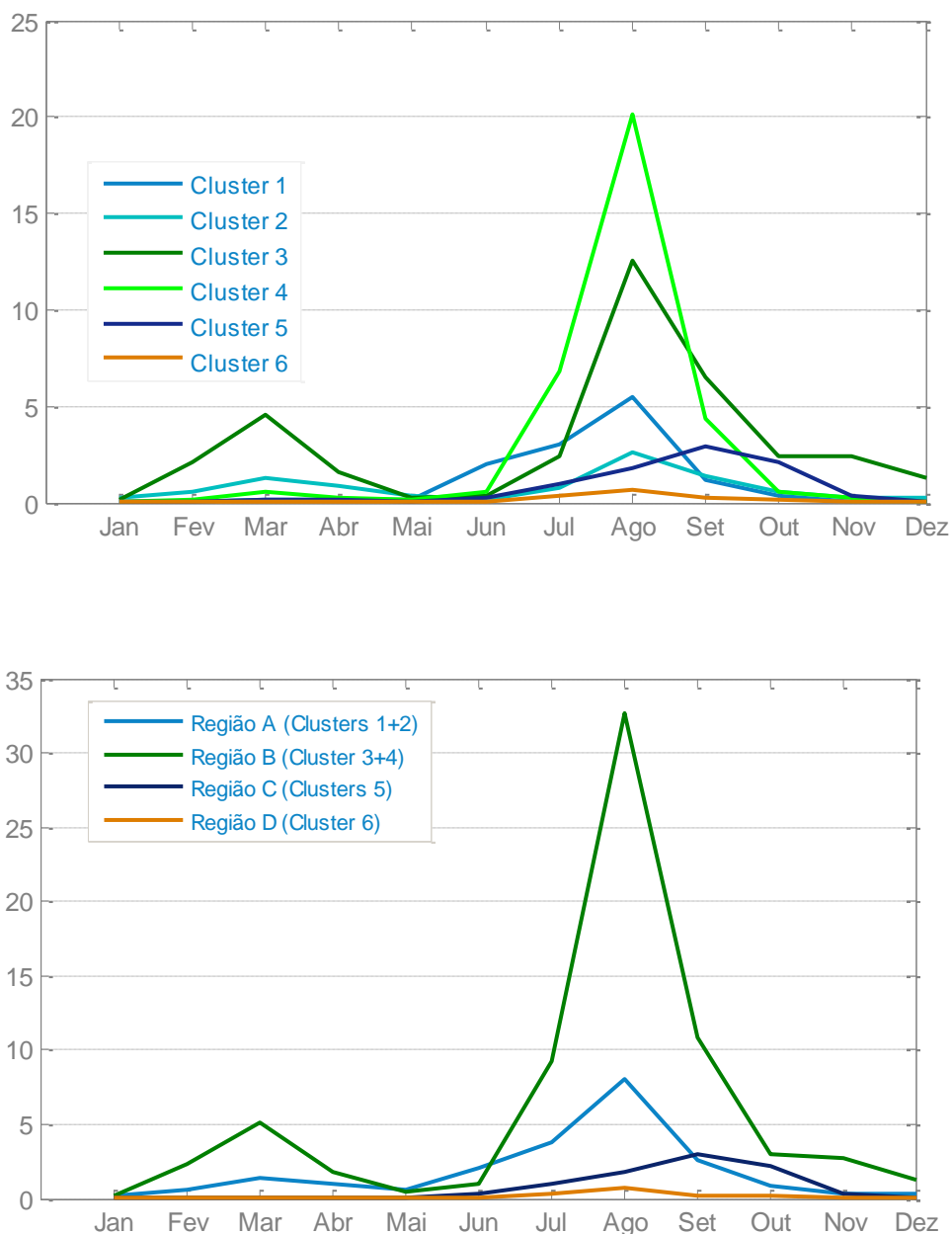


Figura 4.5 - Número médio de fogos mensais por quadrícula

4.2 Caracterização de regimes de frequência de fogos

A fim de caracterizar os regimes de frequência de fogos nas regiões identificadas com base na análise de *clusters*, procedeu-se a um ajuste da distribuição da função generalizada de Pareto às ocorrências de fogos observadas em cada uma das regiões.

Para cada uma das amostras, com comprimento significativo (com mais de 100 elementos), referentes à totalidade das ocorrências nos meses de Verão (Julho e Agosto) e à totalidade das ocorrências por tipo de vegetação e por mês, obtiveram-se estimativas dos parâmetros de forma e de escala, os quais se apresentam na tabela 4.1. A qualidade do ajuste foi avaliado através de diagramas dos percentis de amostra versus percentis da distribuição de Pareto ajustada (figuras 4.6 e 4.7). A variação mensal dos parâmetros é apresentada graficamente através da figura 4.8.

Tabela 4.1 - Estimativas mensais dos parâmetros da função GP ajustada.
Valores estimados com base em amostras de com base em amostras de fogos ativos superiores a 100 estão assinados em negrito.

Meses/Região	Parâmetro de forma (k)				Parâmetro de escala (σ)				Número de observações da amostra			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Janeiro	-0,74	-0,50	-0,03	-0,46	0,58	0,38	0,17	0,31	73	28	8	96
Fevereiro	-0,34	-0,38	-0,63	-0,33	0,39	0,43	0,36	0,32	199	216	31	268
Março	-0,28	-0,41	-0,59	-0,21	0,44	0,57	0,35	0,32	364	332	58	580
Abril	-0,40	-0,32	-0,39	-0,33	0,42	0,43	0,33	0,31	306	178	65	397
Maio	-0,23	-0,70	-0,56	-0,33	0,39	0,46	0,43	0,32	145	63	29	213
Junho	-0,44	-0,45	-0,49	-0,39	0,63	0,52	0,46	0,41	220	126	102	411
Julho	-0,28	-0,32	-0,31	-0,26	0,53	0,72	0,47	0,47	441	535	293	1266
Agosto	-0,28	-0,36	-0,23	-0,29	0,63	0,84	0,51	0,60	715	1250	377	1778
Setembro	-0,32	-0,22	-0,28	-0,23	0,50	0,52	0,49	0,38	463	802	773	1384
Outubro	-0,33	-0,35	-0,20	-0,34	0,49	0,57	0,39	0,34	178	195	707	1030
Novembro	-0,47	-0,37	-0,31	-0,33	0,41	0,55	0,36	0,33	112	177	173	285
Dezembro	-0,32	-0,24	-1,17	-0,40	0,42	0,40	0,56	0,31	94	95	8	71
Julho-Agosto	-0,25	-0,35	-0,23	-0,26	0,57	0,80	0,48	0,54	1156	1785	670	3044

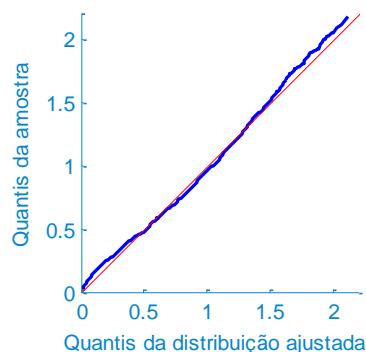
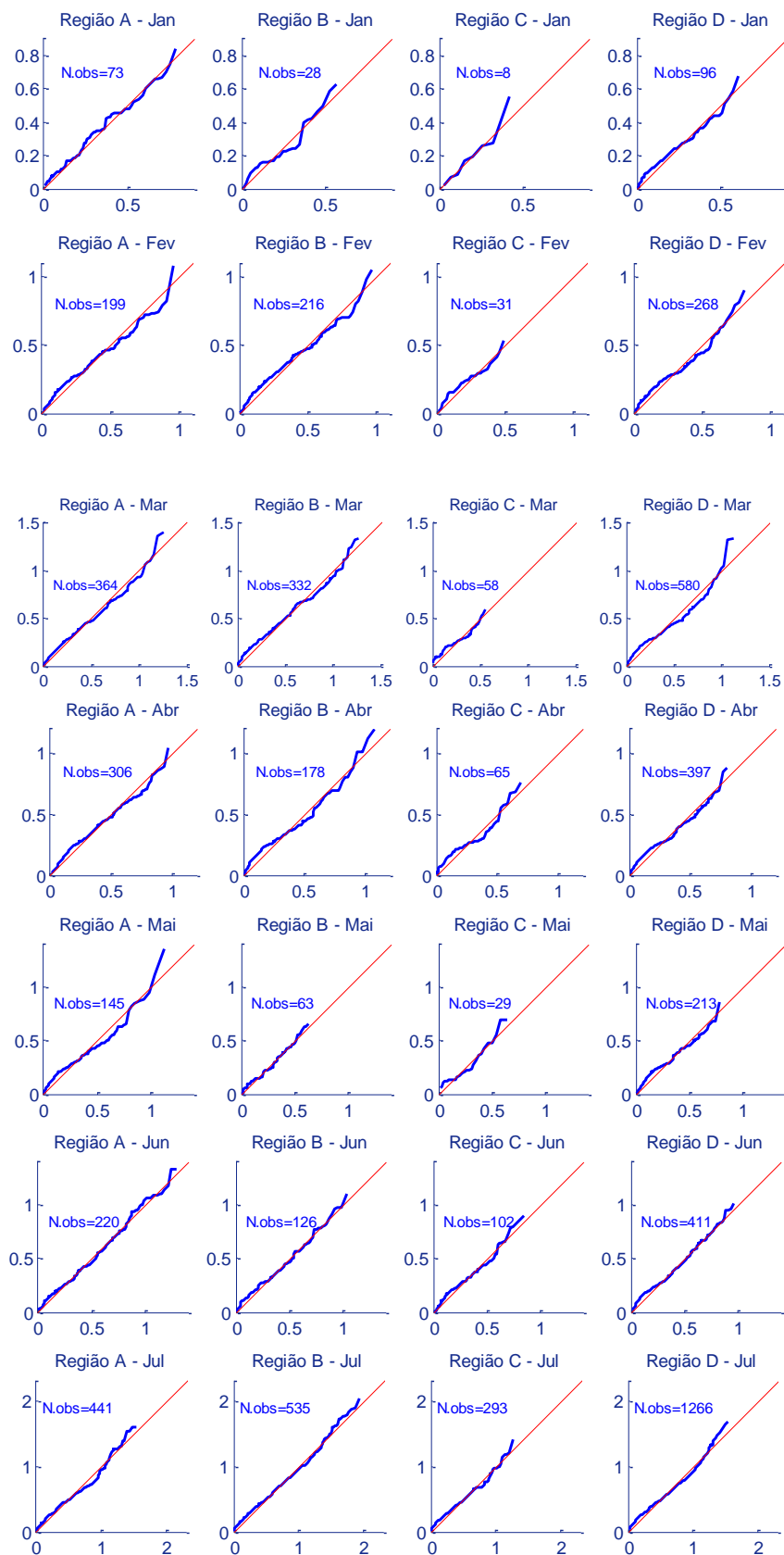


Figura 4.6 - Gráfico de probabilidade para os meses de Verão da amostra total de dados

(fogos ativos de Julho a Agosto de 2001-2009).



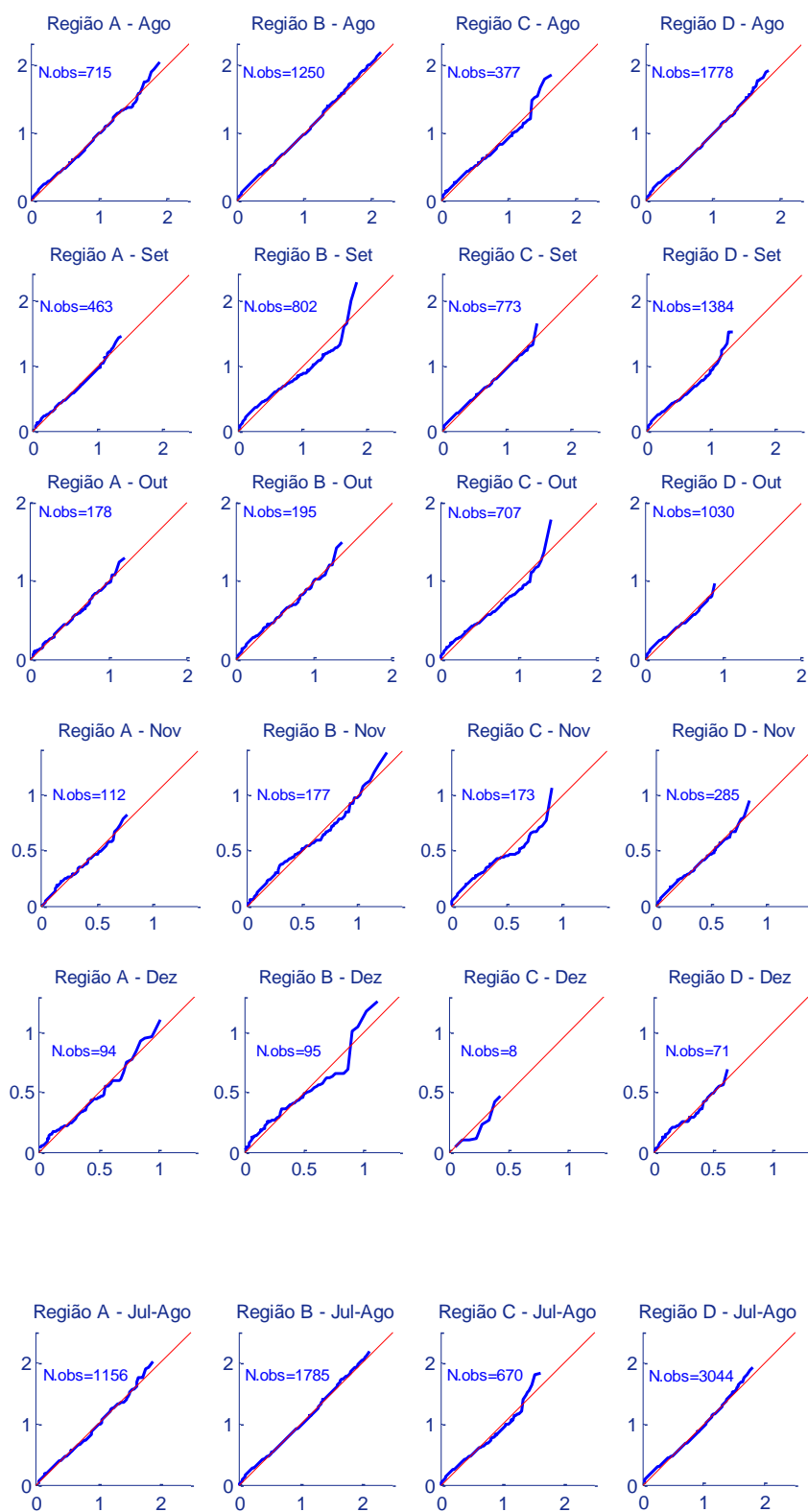


Figura 4.7 - Gráficos de probabilidade para o modelo ajustado (quantis da distribuição ajustada vs. quantis da distribuição).

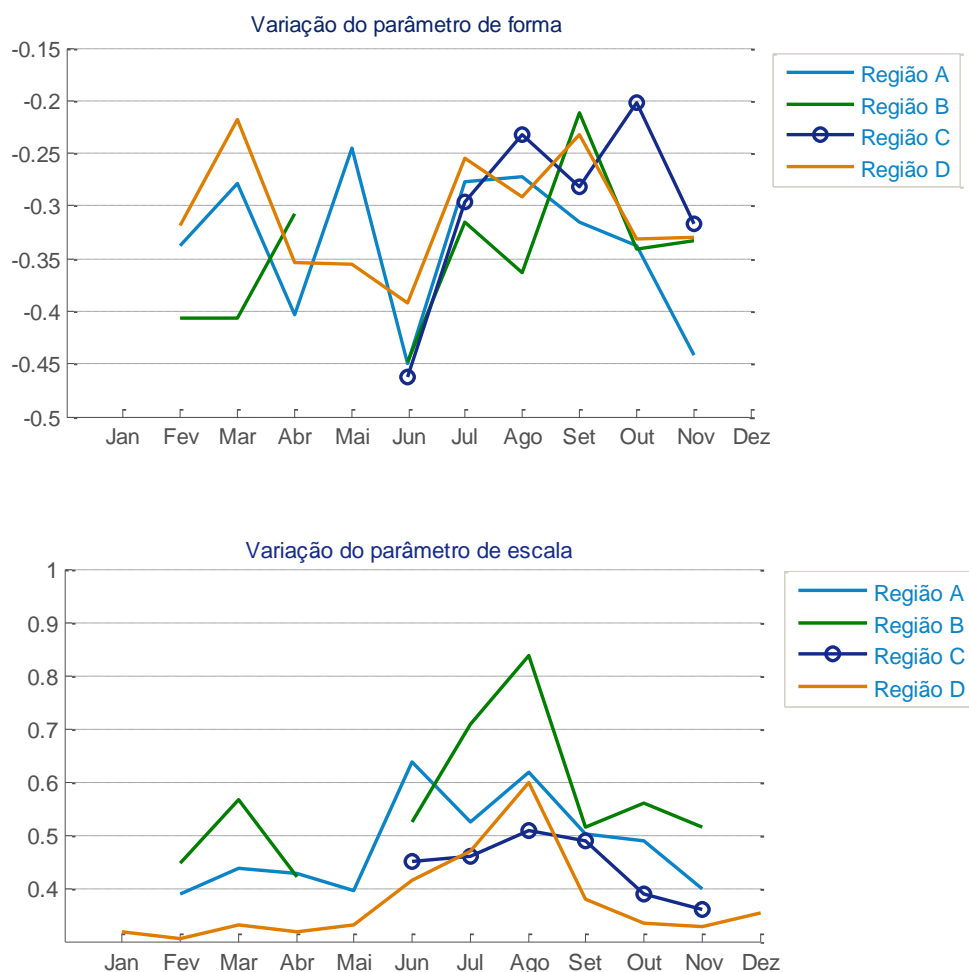


Figura 4.8 - Variação mensal dos parâmetros de forma (k) e de escala (σ).

Nas figuras 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam-se as funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada dos modelos de Pareto generalizado, nomeadamente para os meses de verão (figura 4.9) e para os meses de Julho e de Agosto (figuras 4.10 e 4.11). Igualmente se calcularam, a partir da distribuição acumulada, riscos de incêndio para diversos limiares, de que se apresentam exemplos na tabela 4.2. De notar que, no presente trabalho, o risco α é dado pelo número de episódios cuja probabilidade de excedência é α (por exemplo, o número de ocorrências N associadas a um risco de 10% é tal que $P\{x \geq \text{Log } N\} = 0.1$).

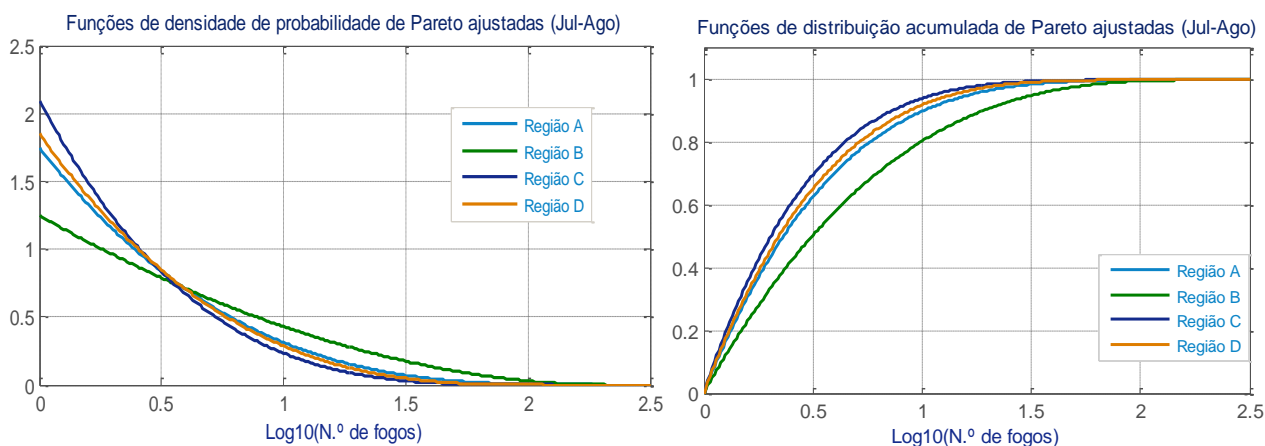


Figura 4.9 - Funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada de Pareto (Julho a Agosto de 2001-2009).

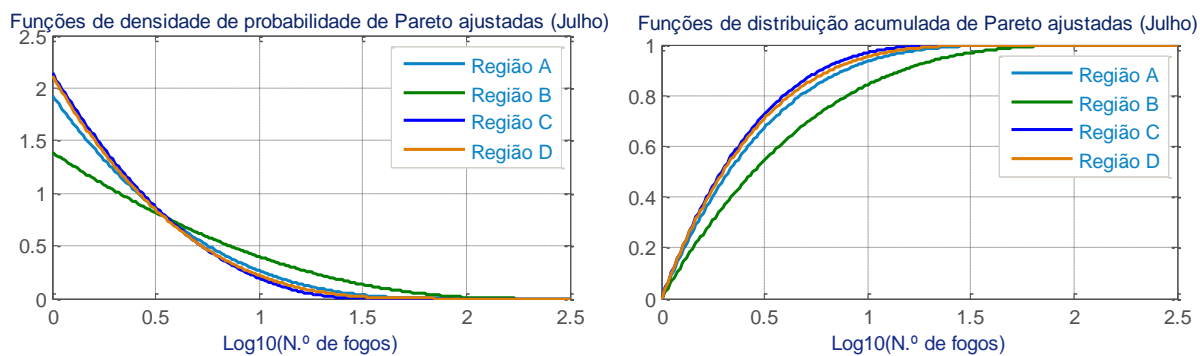


Figura 4.10 - Funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada de Pareto (Julho de 2001-2009).

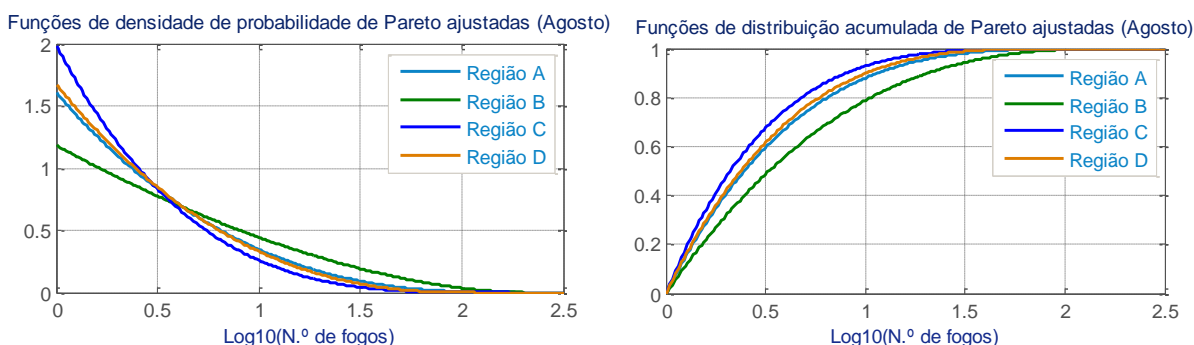


Figura 4.11 - Funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada de Pareto (Agosto de 2001-2009).

Tabela 4.2– Riscos de incêndio calculados para as diferentes regiões de estudo.

Região		Meses Julho - Agosto	Julho	Agosto
A	a)	9.98	6.66	12.12
	b)	1.37	0.37	1.95
B	a)	19.52	15.65	21.16
	b)	4.89	3.11	5.66
C	a)	5.82	3.33	7.26
	b)	0.41	0.00	0.72
D	a)	7.95	4.79	10.11
	b)	0.70	0.14	1.13

Nota:

- a) risco de ocorrerem 10 fogos numa quadrícula da região (%)
- b) risco de ocorrerem 31 fogos numa quadrícula da região (%)

5. Discussão e conclusões

No presente trabalho procedeu-se a uma classificação dos regimes de incêndio na Península Ibérica tendo por base o ciclo anual de densidade de ocorrências de fogos ativos à escala mensal. Para tal, recorreu-se a uma análise de *clusters*, a qual permitiu obter quatro regimes diferentes de fogos bem definidos, associados a tipos de vegetação predominante característica e apresentando picos mensais de densidade de ocorrências igualmente característicos. A região A apresenta uma composição mista de árvores, arbustos e de área cultivada, sendo, no entanto, constituída maioritariamente por floresta, tal como a região B, cuja vegetação é composta praticamente por coníferas e folhosas. Para estas duas regiões, os picos do número médio de fogos ativos mensais ocorrem nos meses de Março e de Agosto. Já a região C, essencialmente constituída por áreas cultivadas, apresenta maior número de ocorrências em Setembro e Outubro. A região D, que também é maioritariamente composta por áreas cultivadas, mas com maior quantidade de árvores e de arbustos, apresenta picos de atividade no mês de Agosto.

Seguidamente, para cada um dos *clusters* identificados, procedeu-se a um ajuste da distribuição de Pareto às amostras mensais de densidade de ocorrências. Esse ajuste foi efetuado através do método da máxima verosimilhança e validado através de gráficos de percentil modelado versus percentil da amostra. Os resultados obtidos mostraram-se muito satisfatórios.

Finalmente, procedeu-se a uma análise da evolução mensal dos parâmetros estatísticos, nomeadamente do parâmetro de forma e do parâmetro de escala, tendo-se observado que essa evolução apresenta padrões regulares ao nível do parâmetro de escala, observando-se picos nos meses de verão para todas as regiões e picos secundários no mês de Março no caso dos *clusters* A e B.

No que se refere ao parâmetro de forma, não se detetou um padrão de evolução, nem a nível interanual, nem inter *cluster*, tendo-se, no entanto, que todos os parâmetros de forma têm valor negativo, o que constitui indicação de que todas as distribuições são limitadas superiormente.

É de esperar que estes resultados obtidos possam vir a contribuir para a elaboração de mapas estáticos de risco de incêndio, os quais poderão ser utilizados como informação de *background* num posterior estudo em que se tenha também em linha de conta os fatores de ordem meteorológica.

6. Bibliografia

- Arshad, M., Rasool, M. T. & Ahmad, M. I., 2003. Anderson Darling and Modified Anderson Darling Tests for Generalized Pareto Distribution. *Pakistan Journal of Applied Sciences*, pp. 3(2): 85-88.
- Autoridade Florestal Nacional, 2010. *Relatório Final do 5.º Inventário Florestal Nacional*. [Online] Available at: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/ifn/relatorio-final-ifn5-florestat-1>
- Carmona- Moreno, C. & et, a., 2005. Characterizing interannual variations in global firecalendar using data from Earth observing satellites. *Global Change Biology*, pp. 11, 1537–1555, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.001003.x.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), 2011. *Annual Disaster Statistical Review 2010 – The numbers and trends*, Louvain-la-Neuve (Belgium): Ciaco Imprimerie.
- Centro de Interpretação da Serra da Estrela/Município de Seia, 2009. *Inventariação e caracterização de áreas florestais naturais do concelho de Seia*, Castelo Branco: s.n.
- Chuvieco, E., Giglio, L. & Justice, C., 2008. Global characterization of fire activity toward defining fire regimes from Earth observation data.. *Global Change Biology*, Volume 14: 1488–1502.
- Cochrane, M. A., 2003. Fire Science For Rainforests. *Nature*, pp. VOL 421 pp. 913-919.
- Costa, T. V., 2008. *Detecção de plumas de incêndio com radar meteorológico*. s.l.:Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (tese de mestrado).
- EFFIS, 2003. *Economic Damages Study: "Proposal for a harmonized methodology to assess socio-economic damages from forest fires in Europe"*, s.l.: s.n.
- FAO, 2010. *Wildland Fire Management - Handbook For Trainers*.. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fernandes, P., 2009. Fichas-tipo das relações entre o fogo e a floresta. *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, p. 8.
- Fritz, S. et al., 2003. *Harmonisation, mosaicing and production of the Global Land Cover 2000 database (Beta Version)*, s.l.: Joint Research Centre EUR 20849 EN.
- GeoNetwork Opensource, 2000. *GeoServer - The portal to spatial data and information*. [Online] Available at: <http://geoserver.isciences.com:8080/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=55>
- Giglio, L. et al., 2006. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, p. 1.
- Giovanni, G. et al., 2001. Effects of land use and eventual fire on soil erodibility in dry Mediterranean conditions. *Forest Ecology and Management*, pp. 15-23.
- Gouveia, C., DaCamara, C. C. & Trigo, R. M., 2010. Post-fire vegetation recovery based on spot/vegetation data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, pp. 10, 673–684.

- Gouveia, C. M. P., 2008. *The Role Of Remote Sensing In Assessing The Impact Of Climate Variability On Vegetation Dynamics In Europe*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa: Tese de Doutoramento em Ciências Geofísicas e da GeoInformação (Detecção Remota).
- Graetz, D., 1999. *Satellites map the burning continents* [Interview] (21 September 1999).
- Holmes, T. P., Huggett, R. J. J. & Westerling, A. L., 2008. Statistical Analysis of Large Wildfires. In: *The Economics of Forest Disturbances: Wildfires, Storms, and Invasive Species*. s.l.:Springer Science+Business Media, pp. 59-77.
- JRC, 2010. *Joint Research Centre - Global Environment Monitoring Unit*. [Online]
Available at: <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php>
- JRC, 2010. *Forest Fires In Europe 2010*, European Union: Joint Research Centre - Luxembourg: Publications Office of the European Union, doi:10.2788/46294.
- Le Page, Y. et al., 2008. Global Fire Activity Patterns (1996-2006) and climatic influence: an analysis using the World Fire Atlas. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 1911–1924, 2008.
- Le Quéré, C., Raupach, M. R., Canadell, J. G. & Marland, G., 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. Volume 2.12, pp. 831-836.
- Leotti, V. B., Birck, A. R. & Riboldi, J., 2005. COMPARAÇÃO DOS TESTES DE ADERÊNCIA À NORMALIDADE KOLMOGOROV-SMIRNOV, ANDERSON-DARLING, CRAMER-VON MISES E SHAPIRO-WILK POR . In: Universidade Federal do Rio Grande do Sul: s.n.
- Li, C., 2002. Estimation of fire frequency and fire cycle: a computational perspective. *Ecological Modelling* 154 (2002) 103 – 120.
- Littell, J. S., McKenzie, D., Peterson, D. L. & Westerling, A. L., 2009. Climate and wildfire area burned in western U.S. ecoprovinces, 1916–2003. *Ecological Applications*, pp. Vol. 19, No. 4 : 1003-1021.
- Mateus, T., 2006. *O potencial energético da floresta portuguesa: análise do potencial energético disponível para as centras termoelétricas a biomassa florestal lançadas a concurso*, Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2011. *Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3)*. [Online]
Available at: <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3.aspx>
- Mota, B., 2010. *Caracterização da área queimada à escala global (1982-1999) e análise de alguns dos seus impactos climáticos e ecológicos*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa (tese de doutoramento).
- NASA , 2003. *FIRE FREQUENCY DETERMINES FOREST CARBON STORAGE*. [Online]
Available at: <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0311firecarbon.html>
- NASA, 2012. *MODIS WEB*. [Online]
Available at: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

National Research Council, 2008. 10 Land-Use and Land-Cover Change. In: *Earth Observations From Space. The First 50 Years of Scientific Achievements*. Washington, DC: The National Academies Press 1. Print, pp. 86-91.

National Wildfire Coordinating Group (NWCG), 2003. *S-190 Introduction to Wildland Fire Behavior*. [Online].

Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, s.d. *The Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System*. [Online]

Available at: http://www.fire.uni-freiburg.de/fwf/ca_fwi.htm

OFDA/CRED, Apr-10-2012- Data version: v12.07. *International Disaster Database*. [Online]

Available at: www.em-dat.net

Pan, Y. et al., 2011. *The Global Carbon Project*. [Online]

Available at: <http://www.globalcarbonproject.org/news/forestsink.html>

Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, pp. 11, 1633–1644.

Pereira, A. J., 2005. *Ciência on-line Biologia no Verão*. [Online]

Available at: http://cebv.fc.ul.pt/cienciaonline/biologia_verao.htm

[Acedido em 2012].

Pereira, M. G. et al., 2005. Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, p. 129 (2005) 11–25.

Pyne, S. J. et al., 2011. *Migration and global environmental change SF 10: Specification for a state of science review – wildland fires*, London: In Johann G. Goldammer (ed.) UN White Paper on Vegetation Fires and Global Change, U.K. Government Office for Science.

Riaño, D., Moreno, R. J. A., Isidoro, D. & Ustin, S. L., 2007. Global spatial patterns and temporal trends of burned area between 1981 and 2000 using NOAA-NASA Pathfinder. *Global Change Biology*, Volume 13, 40–50, doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01268.x.

Rigolot, E., Fernandes, P. M. & Rego, F. C., 2009. Living With Wildfires: What Science Can Tell Us. In: s.l.:Edited by:Y. Birot. 49-52 European Forest Institute, Discussion Paper 15 Joensuu: EFI .

Schoenberg, F. P., Peng, R. & Woods, J., 2003. On the distribution of wildfire sizes. *Environmetrics*, pp. 14:583-592 (DOI:10.1002/env.605).

Spessa, A. et al., 2007. Fire in the Vegetation and Peatlands of Borneo, 1997-2007: Patterns, Drivers and Emissions from Biomass Burning. *Geoph. Res.*, pp. 4-5.

Stocks, B., 1992. The extent and impact of forest fires in northern circumpolar countries. Volume Global biomass burning, atmospheric, climatic, and biospheric implications, pp. 197-212.

Strauss, D., Bednar, L. & Mees, R., 1989. Do One Percent of Forest Fires Cause Ninety-Nine Percent Of The Damage?. *ForestScience*, pp. Vol. 35 No. 2 pp. 319-328.

Tansey, K., et al., 2004. Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data. *J. Geophys. Res.*, pp. 109, D14S03, doi:10.1029/2003JD003598.

Tansey, K. et al., 2007. A new, global, multi-annual (2000-2007) burnt area product at 1 km resolution. *Geophysical Research Letters*, pp. VOL.35,L01401,doi:10.1029/2007GL031567.

Wikipedia, the free encyclopedia, 2012. *Mediterranean climate*. [Online]
Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Mediterranean_climate
[Acedido em 5 Julho 2012].